ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Análisis del Factor de Daño de Formación y Evaluación de los Tratamientos de Fracturamiento Realizados en el Campo ANPA del Distrito Amazónico"

TESINA DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

Presentada por:

PABLO AUGUSTO FREIRE RODRÍGUEZ
ÁNGEL JAVIER CHUIZA PILCO

GUAYAQUIL – ECUADOR

Ano: 2011

AGRADECIMIENTO

(Pablo)

Agradezco a Dios, por haberme dado la oportunidad de vivir todos y cada uno de los momentos que me han llevado hasta este punto culminante de mi vida universitaria, por la fuerza que me dio en los momentos difíciles y en especial por todo el respaldo y el apoyo que recibí a través de mis apreciados padres, quienes siempre estuvieron conmigo para guiarme por el camino del bien y que en honor a la verdad y sin lugar a dudas, sin ellos jamás hubiese alcanzado lo mismo.

Un capítulo aparte merece el Ing. Bolívar Miranda y todas las personas que conocí por medio de él, como lo son los Ingenieros Rubén Segovia, Vinicio Durán, Frank Salazar y la distinguida Ingeniera Carmen Romero, ya que sin su apoyo y sin las facilidades brindadas, este proyecto jamás se hubiese podido culminar.

DEDICATORIA

(Pablo)

Todo el esfuerzo realizado por parte mía en este proyecto está dedicado al Sr. Augusto Freire Miranda y a la Sra. Mariana de Jesús Rodríguez Valdéz, mis amorosos padres.

AGRADECIMIENTO

(Ángel)

Mis agradecimientos, a Dios por haberme dado el entendimiento y la sabiduría para poder alcanzar la meta que me propuse, por alumbrarme con su luz y acompañarme todos los días de mi vida y por haberme dado:

En primer lugar a mis padres, Ángel y Carmen, quienes han sido un apoyo moral y económico para lograr este fin. Gracias por su paciencia.

A mi asesor de tesis quien es una de las personas que más admiro por su inteligencia y conocimientos, el Ing. Bolívar Miranda, a quien le debo el hecho de que ésta tesis tenga los menos errores posibles. Gracias por ser tan estricto.

A mis hermanos y amigos por ayudarme y apoyarme sin condiciones. Gracias por facilitarme las cosas.

DEDICATORIA

(Ángel)

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a ti Dios que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa, y a todas las personas que dejaron de acompañarme para estar a tu lado, en especial a mi abuelita Lucía.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Gastón Proaño
PRESIDENTE

Ing. Bolívar Miranda
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral "

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

Pablo Freire Rodríguez

Ángel Chuiza Pilco

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pablo Freire Rodríguez y Ángel Chuiza Pilco, bajo mi supervisión.

Ing. Bolívar Miranda
DIRECTOR DE TESIS

RESUMEN

La pobre producción en ciertos pozos de petróleo está ligada a problemas de taponamiento de los poros de la roca en la vecindad del pozo a la altura de la formación productora. A este taponamiento de los poros de la roca, que a su vez corta el flujo de manera parcial ó total de los fluidos desde el yacimiento hacia el pozo es lo que se le conoce como “daño de formación”.

Este daño de formación puede ser controlado mediante varias técnicas de lo que se conoce como estimulación, entre las cuales tenemos las estimulaciones matriciales también conocidas como acidificaciones y las fracturas que pueden ser ácidas e hidráulicas.

Este proyecto de tesis cuyo tema es “Análisis del Factor de Daño de Formación y Evaluación de los Tratamientos de Fracturamiento realizados en el Campo ANPA perteneciente al Distrito Amazónico” explica de manera detallada el procedimiento de estimulación mediante “skin frac” que se siguió para mejorar la producción del pozo Anpa 15-D, una vez que este había declinado su producción por completo, debido al mencionado daño de formación.

El proyecto que aquí se presenta consta exactamente de siete capítulos, en las páginas de los primeros cinco capítulos se va detallando y exponiendo

gradualmente la información necesaria para comprender todo el procedimiento de la fractura ejecutado en el pozo Anpa 15-D que está expuesto en su totalidad en el último capítulo, previamente a esto se realizará un ejercicio de cálculo que se detalla en el capítulo 6.

En el primer capítulo damos algunas de las características generales del campo ANPA, como lo son su historia, ubicación geográfica, geología, estratigrafía, litología y ambiente sedimentario. Además conceptualizamos algunos términos petrofísicos de interés para posteriormente terminar exponiendo términos relacionados con la mecánica de rocas.

En el segundo capítulo definimos claramente el concepto de “daño de formación”, así como también revisamos cada uno de las etapas de la vida de un pozo y las razones por las que se pueden generar el daño de formación en cada una de ellas.

El tercer capítulo tiene que ver con los métodos que existen para la determinación del daño de formación, básicamente se habla de lo que tiene que ver con las pruebas de presión que es un paso previo para poder estimar ó cuantificar el valor del daño mediante los métodos de Horner, Curvas tipo, etc.

En lo que respecta al cuarto capítulo revisamos conceptos más avanzados referentes al proyecto como lo es la definición de fractura, así como sus modelos interpretativos en 2-D, además temas relacionados a la fractura como lo son el ancho de fractura, longitud de fractura, gradiente de fractura, dirección, orientación, forma, etc.

El capítulo quinto entra con lo que es el fracturamiento, lo define y da sus objetivos generales, hace mención a los dos tipos de fracturamiento que existen que son el hidráulico y el ácido, además abarca todo lo referente a los fluidos de fracturamiento, apuntalantes y termina con los equipos utilizados en este tipo de operaciones.

En el sexto capítulo procedemos a realizar un ejercicio de cálculo del daño de formación utilizando el software PANSYSTEM con los datos de pruebas de presión obtenidos del pozo Anpa 12 – D.

En el capítulo final se trata el caso del fracturamiento realizado al pozo Anpa 15 – D, se muestra sus antecedentes, las causas que generaron el daño de la formación, se hace un análisis de la petrofísica de la roca reservorio, las condiciones de la cementación y de la completación del pozo, para posteriormente mostrarnos de manera detallada el paso a paso del trabajo de fractura realizado y finalmente mostrarnos los resultados obtenidos.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABLAS	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV

CAPÍTULO 1

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CAMPO ANPA	1
1.1. Ubicación Geográfica e Historia	1
1.2. Geología del Campo	3
1.3. Estratigrafía	5
1.3.1. Formación Basal Tena	5
1.3.2. Formación Napo	6
1.3.2.1. Formación “U”	7
1.3.2.2. Formación “T”	8
1.4. Litología	10
1.4.1. Formación Basal Tena	10
1.4.2. Formación “U” Superior	10

1.4.3. Formación “U” Inferior 10

1.4.4. Formación “T” 11

1.4.5. Formación “Hollín” 11

1.5. Ambiente Sedimentario 11

1.5.1. Formación Basal Tena 11

1.5.2. Formación “U” 12

1.5.3. Formación “T” Superior 12

1.5.4. Formación “T” Inferior 12

1.6. Petrofísica 13

1.6.1. Porosidad 13

1.6.2. Permeabilidad 16

1.6.3. Saturación de Fluidos 19

1.7. Petrofísica del Campo 22

1.8. Mecánica de Rocas 24

1.8.1. Esfuerzo 24

1.8.2. Deformación 25

1.8.3. Módulo Elástico de Young 28

1.8.4. Módulo de Poisson 29

1.8.5. Módulo de Corte 31

Capítulo 2

2. DAÑO DE FORMACIÓN 33

2.1. Definición 33

2.2. Origen del Daño de Formación 34

2.2.1. Daño Durante la Perforación 34

2.2.2. Invasión de Sólidos de Perforación 34

2.2.2.1. Causas que Favorecen la Invasión de Sólidos de Perforación 35

2.2.3. Invasión de Fluidos de Perforación 37

2.2.3.1. Causas que Favorecen la Invasión de Fluidos de Perforación 38

2.2.4. Daño Durante la Cementación 41

2.2.4.1. Daño por Fluido de Lavado 41

2.2.4.2. Daño por Lechada de Cemento 42

2.2.4.3. Daño por Compresión de Cemento 43

2.2.5. Daños por Punzados 43

2.2.6. Daño Durante la Producción 45

2.2.7. Daños Durante el Tratamiento Ácido 45

2.2.8. Daños por Fluidos de Terminación 46

2.2.9. Daños Durante la Limpieza del Pozo 47

2.3. Causas Principales del Daño de Formación 48

2.3.1. Bloqueo por Emulsión 48

2.3.2. Cambios de Mojabilidad 49

2.3.3. Bloqueo por Agua 50

2.3.4. Sarros 51

2.3.5. Depósitos Orgánicos 52

2.3.6. Fangos y Arcillas 54

CAPÍTULO 3

3. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DEL DAÑO DE FORMACIÓN 56

3.1. Prueba de Restauración de Presión 58

3.1.1. Métodos de Condiciones Básicas 60

3.1.2. Método de Aproximación de Horner 63

3.2. Pruebas de Abatimiento de Presión 66

3.2.1. Caso 1: Cuando se tiene una Tasa Constante 68

3.2.2. Caso 2: Cuando se tiene Tasa Ligeramente Variable 70

3.2.3. Caso 3: Cuando se tiene n Tasas que varían Discretamente 72

3.3. Método de las Curvas Tipo 74

3.3.1. Método de ajuste por Curvas Tipo de Ramey 76

3.3.2. Método de ajuste por Curva Tipo de “Derivada de Bourdet” 78

CAPÍTULO 4

4. FRACTURA 84

4.1. Definición 84

4.2. Modelos de Fractura 84

4.2.1. Modelo PKN 87

4.2.1.1. Características del Modelo 87

4.2.1.2. Ancho de Fractura 88

4.2.2. Modelo KGD 92

4.2.2.1. Características del Modelo 92

4.2.2.2. Ancho de Fractura 93

4.3. Gradiente de fractura 94

4.4. Presión de Fractura de Fondo 95

4.5. Presión Neta de Fractura 95

4.6. Dirección y Orientación de la Fractura 100

4.7. Forma de la Fractura 102

4.8. Conductividad Efectiva y Adimensional de la Fractura 103

CAPÍTULO 5

5. FRACTURAMIENTO 105

5.1. Definición de Fracturamiento 105

5.2. Objetivo del Fracturamiento 106

5.3. Tipos de Fracturamiento 107

5.3.1. Fracturamiento Hidráulico 107

5.3.2. Fracturamiento Ácido 108

5.4. Fluido de Fracturamiento 108

5.4.1. Propiedades del Fluido de Fractura 110

5.4.2. Tipos de Fluidos de Fracturamiento 110

5.4.2.1. Geles Base Agua 111

5.4.2.2. Geles Base Aceite 112

5.4.2.3. Ventajas de los Geles Base Agua sobre los Geles Base Aceite 114

5.4.3. Aditivos 114

5.4.3.1. Gelificantes 115

5.4.3.2. Bactericidas 115

5.4.3.3. Buffers 116

5.4.3.4. Estabilizadores 117

5.4.3.5. Reductores de Filtrado 119

5.4.3.6. Surfactantes 120

5.4.3.7. Rompedores 121

5.4.3.8. Reductores de Fricción 121

5.4.4. Apuntalante 122

5.5. Equipo de Fracturamiento 124

5.5.1. Equipos de Almacenamiento de Fluidos 125

5.5.2. Equipos de Almacenamiento de Agentes de Sostén 127

5.5.3. Equipos Mezcladores 128

5.5.4. Equipos de Bombeo de Alta Presión 129

5.5.5. Centro de Control 130

5.5.6. Líneas de Superficie 132

5.5.7. Ubicación de los Equipos en Locación 133

5.6. Fases del Fracturamiento 134

CAPÍTULO 6

6. CASO DEL POZO ANPA-12D 136

6.1. Análisis de la Prueba de Presión del Pozo ANPA-12D usando el Software PANSYSTEM 136

6.2. Resultados Obtenidos de la Interpretación 156

CAPÍTULO 7

7. CASO DEL POZO ANPA-15D 160

7.1. Ubicación 160

7.2. Antecedentes 160

7.3. Causas del Daño de Formación 162

7.4. Parámetros de Selección 164

7.5. Análisis de los Parámetros 165

7.6. Resultado y Determinación luego del Análisis de los Parámetros de Selección 171

7.7. Diseño de Fractura 171

7.7.1. Preflujo ONE STEP GP y Fluido Fracturante YF130 HTD 172

7.7.2. Simulador de Fractura Hidráulica 174

7.8. Programa de Work-Over y Procedimiento para Fracturamiento Hidráulico 176

7.9. Evaluación del Tratamiento **182**

7.10. Producción Post-Fractura **183**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **184**

ANEXOS **186**

SIMBOLOGÍA **193**

BIBLIOGRAFÍA **198**

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Mapa 1.1. Ubicación del Campo ANPA 1

Figura 1.1. Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriente 9

Figura 1.2. Esfuerzo Aplicado sobre un Material 25

Figura 1.3. Deformación Unitaria de un Material 26

Figura 1.4. Gráfica de Esfuerzo (σ) vs. Deformación Unitaria (ε_z) 27

Figura 1.5. Deformación Transversal de un Material 30

Figura 1.6. Deformación de Corte o Cizalla de un Material 31

Figura 1.7. Esfuerzo Vertical sobre un Estrato 32

Capítulo 2

Figura 2.1. Invasión de Sólidos de Perforación a la Formación 35

Figura 2.2. Tipo de Emulsiones 49

Figura 2.3. Depósitos Minerales en la Tubería 51

Capítulo 3

Figura 3.1. Prueba de Restauración de Presión 58

Figura 3.2. Una sola Tasa de Producción antes del Cierre 60

Figura 3.3 Gráfica de los Datos Obtenidos de la Prueba de Build-Up con una Tasa Constante antes del Cierre 61

Figura 3.4. Varias Tasas de Producción antes del Cierre 63

Figura 3.5. Varias Tasas de Producción Representadas en una sola según Horner 64

Figura 3.6. Prueba de Abatimiento de Presión 67

Figura 3.7. Gráfica de los Datos Obtenidos de la Prueba de Drawdown a una Tasa Constante 69

Figura 3.8. Gráfica de los Datos Obtenidos de la Prueba de Drawdown a Tasa ligeramente Variable 71

Figura 3.9. Gráfica de los Datos obtenidos de la Prueba de Drawdown a n Tasas que varían Discretamente 73

Figura 3.10. Ajuste de los Datos de Presión a la Curva Tipo 75

Figura 3.11. Ajuste de Datos con la Curva Tipo de Ramey 77

Figura 3.12. Curva Tipo de Ramey de donde determinamos por lectura el valor de $C_{DM}\ y\ S$ 77

Figura 3.13. Procedimiento para hallar $(\Delta P')$ 79

Figura 3.14. Curva Tipo Derivada de Bourdet 82

Capítulo 4

Figura 4.1. Modelo Geométrico PKN 87

Figura 4.2. Modelo Geométrico KGD 92

Figura 4.3. Orientación Horizontal de una Fractura 100

Figura 4.4. Tipos de Orientación de una Fractura 101

Figura 4.5. Tipos de Orientación de una Fractura de Acuerdo al Gradiente de Fractura 101

Figura 4.6. Forma de una Fractura 102

Figura 4.7. Régimen de Flujo Radial 102

Figura 4.8. Régimen de Flujo Bilineal 103

Capítulo 5

Figura 5.1. Proceso para la Ejecución de un Fracturamiento 106

Figura 5.2. Muestra de la Goma Guar y el Gel Lineal 115

Figura 5.3. Procesos de Hinchamiento y Migración de Arcillas 118

Figura 5.4. Tanques de Almacenamiento de Fluido Base 125

Figura 5.5. Tanques de Almacenamiento de Gel Lineal 126

Figura 5.6. Tanques de Almacenamiento de Agentes de Sostén 127

Figura 5.7. Blender de Fracturamiento 129

Figura 5.8. Bombas de Fracturamiento 130

Figura 5.9. Centro de Control 131

Figura 5.10 Líneas de Superficie utilizadas para transportar el Fluido de Fractura 132

Figura 5.11 Ubicación de Equipos en Locación 133

Figura 5.12 Etapas de Iniciación y Propagación de una Fractura 134

Figura 5.13 Etapas de Apuntalamiento de la Fractura y Producción del Pozo 135

Capítulo 6

Figura 6.1. Data de la Prueba de Presión Ejecutada al Pozo ANPA-12D 137

Figura 6.2. Hoja de Datos Básicos del Pozo ANPA-12D 137

Figura 6.3. Data de la Prueba de Presión lista para ingresar al Programa 138

Figura 6.4. Portada del Software 138

Figura 6.5. Recuadro para el ingreso de la Data de la Prueba de Presión 139

Figura 6.6. Data de Prueba de Presión cargada en el Programa 139

Figura 6.7. Número de Datos cargados en el Programa 140

Figura 6.8. Gráfica Presión vs. Tiempo 140

Figura 6.9. División de la Prueba 141

Figura 6.10. Recuadro para el ingreso de Datos del Pozo, Fluido y Reservorio 142

Figura 6.11. Recuadro para ingresar los Parámetros del Pozo 142

Figura 6.12. Recuadro para ingresar los Parámetros del Reservorio 143

Figura 6.13. Recuadro para ingresar el Modelo de Empuje del Reservorio 144

Figura 6.14 Recuadro para ingresar los Parámetros de los Fluidos del Reservorio 145

Figura 6.15. Recuadro para igualar las Presiones de Burbuja 146

Figura 6.16. Recuadro para ingresar los Datos que permitirán obtener los Resultados a la Profundidad de las Perforaciones 147
Figura 6.17 Análisis de la Restauración de Presión 147
Figura 6.18 Análisis del Método de la Derivada 148
Figura 6.19 Recuadro para establecer la coincidencia de gráficas 149
Figura 6.20. Marcación del Flujo Radial 149
Figura 6.21. Marcación del Efecto de Almacenamiento 150
Figura 6.22. Análisis del Método de Horner 150
Figura 6.23. Parámetros obtenidos del Análisis de Horner 151
Figura 6.24. Recuadro para elegir el Modelo de Empuje del Reservorio 152
Figura 6.25. Aplicación del Quick Match 152
Figura 6.26. Aplicación del Quick Match en la gráfica LOG-LOG 153
Figura 6.27. Aplicación del Quick Match en la gráfica SEMI-LOG 153
Figura 6.28. Mejor coincidencia obtenida con la Aplicación del Quick Match en la gráfica SEMI-LOG 154
Figura 6.29. Mejor coincidencia obtenida con la Aplicación del Quick Match en la gráfica LOG-LOG de la Derivada 154
Figura 6.30. Recuadro para ingreso de Datos para obtener el IPR 155
Figura 6.31. Gráfica del IPR para el Total de los Fluidos, para el Agua y para el Petróleo 156

Capítulo 7

Figura 7.1. Historial de Producción del Pozo ANPA-15D 162

Figura 7.2. Registros de la Petrofísica de la Arena Napo "T" 167

Figura 7.3. Registros de Cementación de la Arena Napo "T" 168

Figura 7.4. Completación del Pozo ANPA-15D 169

Figura 7.5. Geometría de la Fractura calculada con FRAC CADE 175

Figura 7.6. Representación de la Completación del Pozo 176

Figura 7.7. Representación de la Sarta de Limpieza y el Acondicionamiento del Pozo 177

Figura 7.8. Representación de la Sarta de Fracturamiento, la Píldora Aisladora en la Zona "U" y el ONE STEP en la Zona a Fracturar ("T" Inferior) 178

Figura 7.9. Diagrama de Bombeo del Propante al Pozo 179

Figura 7.10 Representación de la Sarta de Limpieza 180

Figura 7.11 Representación de la Sarta de Evaluación 181

Figura 7.12 Geometría Real de la Fractura obtenida con FRAC CADE 183

Figura 7.13. Producción Post-Fractura del pozo ANPA-15D 183

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

Tabla 1.1. Coordenadas Geográficas y UTM del campo ANPA 2

Tabla 1.2. Rangos de Porosidad en las Rocas Reservorio 14

Tabla 1.3. Rangos de Permeabilidad en las Rocas Reservorio 18

Tabla 1.4. Porosidad y Permeabilidad de los Yacimientos en el Campo ANPA 23

Tabla 1.5. Características del Campo ANPA 23

Tabla 1.6. Algunos Valores del Módulo de Young (E) 29

Capítulo 3

Tabla 3.1. Data de una Prueba de Build-Up con una Tasa Constante antes del Cierre 61

Tabla 3.2. Data de una Prueba de Drawdown a una Tasa Constante 69

Tabla 3.3. Data de una Prueba de Drawdown a Tasa ligeramente Variable 70

Tabla 3.4. Preparación de la Data de una Prueba de Drawdown a Tasa ligeramente Variable 71

Tabla 3.5. Data de una Prueba de Drawdown a n Tasas que varían Discretamente 73

Tabla 3.6. Cálculo de la Presión Derivada 81

Capítulo 5

Tabla 5.1. Clasificación de los Apuntalantes de acuerdo a la Presión de Cierre 123

Tabla 5.2. Propiedades de los Propantes más comunes 124

Capítulo 6

Tabla 6.1. Tiempos de Prueba 156

Tabla 6.2. Resultados Método de Horner 157

Tabla 6.3. Resultados Método de la Derivada 157

Tabla 6.4. Resultados Tipos de Modelos en el Reservorio 158

Tabla 6.5. Resultados Índice de Productividad 158

Capítulo 7

Tabla 7.1. Intervalos disparados en el Pozo ANPA-15D 161

Tabla 7.2. Resultados de la Prueba de Producción del Pozo ANPA-15D 161

Tabla 7.3. Parámetros Petrofísicos de la Arena Napo "T" Inferior 166

Tabla 7.4. Propiedades de los Fluidos del Pozo ANPA-15D 170

Tabla 7.5. Propiedades del Reservorio 170

Tabla 7.6. Resultados de la Simulación de la Fractura 174

Tabla 7.7. Programa de Bombeo de los Fluidos al Pozo 179

Tabla 7.8. Valores de la Fractura Obtenida del ANPA-15D 182

INTRODUCCIÓN

El Petróleo para el estado ecuatoriano representa una de las principales fuentes de ingresos, y cualquier trabajo destinado a recuperar o mejorar la productividad de los pozos petroleros es de gran importancia para sus intereses económicos.

El presente proyecto muestra un análisis de lo que se conoce como daño de formación, y la respectiva solución que se plantea para estos casos es Bypassear las obstrucciones que taponan el medio poroso mediante la implantación del método de fracturamiento, con el objetivo de estimular y aumentar la producción de la capa productiva.

El daño de formación es un problema operacional y económico que ocurre durante todas y cada una de las fases de recuperación de petróleo de los reservorios, presentándose en algunos casos con mayor severidad que en otros.

Cada tipo de operación tales como producción, perforación y operaciones de reacondicionamiento trae su propio riesgo para la formación. Siempre que se lleve a cabo éstas operaciones ocurrirá algún grado de daño de formación.

CAPÍTULO 1

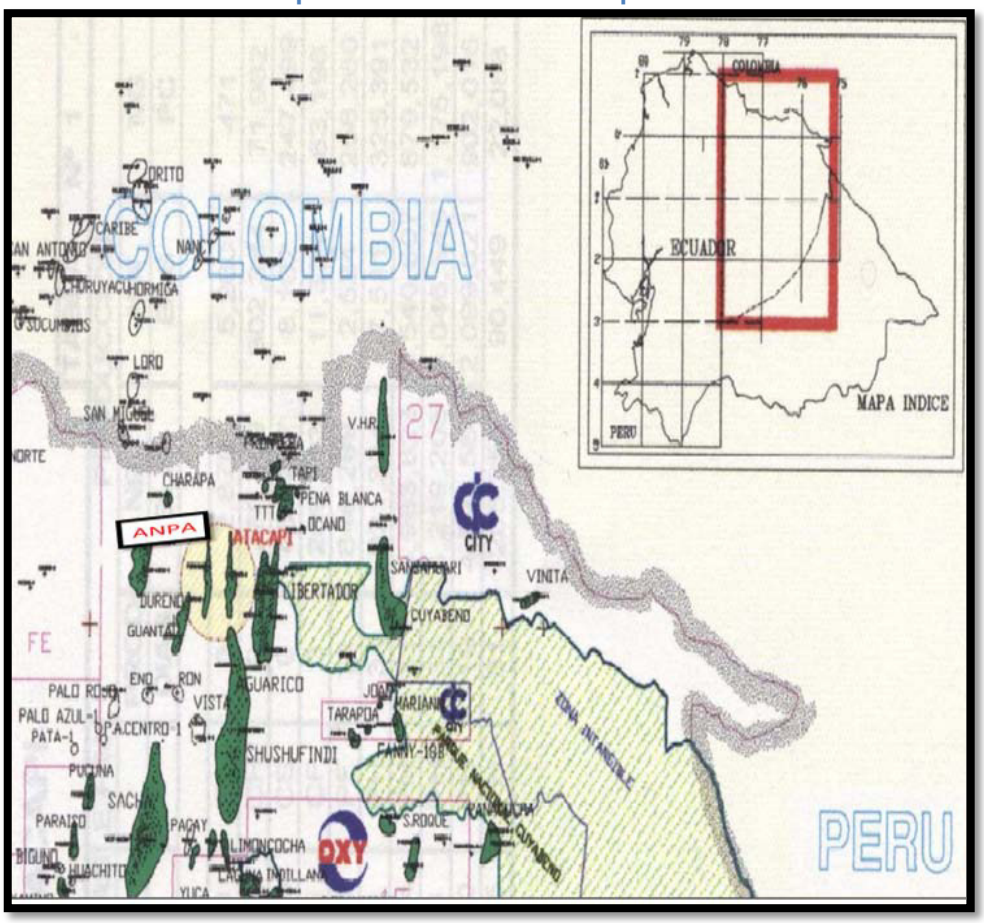
1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CAMPO ANPA

1.1. Ubicación Geográfica e Historia

El Campo ANPA está ubicado en la provincia de Sucumbíos, a 16 km al sur-este del campo Lago Agrio, en la cuenca oriente del Ecuador.

Pertenece al área Libertador, conjuntamente con los siguientes campos: Atacapi, Carabobo, Pichincha, Cuyabeno, Sansahuari, Shuara, Secoya, Tapi, Tetete, Shushuqui, Pacayacu, Singue, Chanangue, Peña Blanca, Frontera y Víctor Hugo Rúales.

Mapa 1.1. Ubicación del campo ANPA



Fuente: PETROPRODUCCION DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA

Las coordenadas geográficas con la respectiva equivalencia en coordenadas UTM son:

Tabla 1.1.- Coordenadas Geográficas y UTM del campo ANPA

COORDENADAS	LATITUD	LONGITUD
Geográficas	00° 07' 00" - 00° 01' 00" (Norte)	76° 43' 00" - 76° 38' 00" (Oeste)
UTM	10001000 – 10024000 (Norte)	304000 – 320000 (Oeste)

El campo ANPA fue descubierto con la perforación del pozo Anpa-01 en Octubre de 1968 por la compañía Texaco-Gulf, alcanzando una profundidad de 10173 pies y completado oficialmente el 18 de Noviembre de 1968, con una producción comercial en la arenisca “T” de 448 BPPD, °API = 31 y BSW = 0.2%.

Este campo inició su etapa productiva en los primeros días de Diciembre de 1978, con 4 pozos. En el campo ANPA se han perforado 15 pozos, los cuales producen de las areniscas dentro de la unidad Basal Tena, las areniscas U y T y miembros de la formación Napo Inferior; todas de edad cretácica.

El campo tiene un promedio de producción de 1125 BPPD, con un acumulado a noviembre del presente año de 14 MMbls de petróleo computados a partir de 1978.

1.2. Geología del Campo

Este campo está situado en terreno de jungla al norte del río Aguarico, tributario del río Amazonas. Ubicado sobre el flanco norte del arco de la trans-cuenca, separando la Cuenca Oriente de Ecuador y Perú, hacia el sur de la cuenca Putumayo en Colombia.

La región ha sido objeto de cinco periodos de deformación estructural, con presencia de fallas, anticlinales y narices estructurales.

La nueva interpretación en base a los resultados de la sísmica 3D confirma la presencia instantánea de dos grandes anticlinales controlados por dos fallas inversas respectivamente, que provienen del basamento, además existen pequeñas fallas, con sellos más pequeños hacia arriba de la serie, hasta desaparecer a nivel de la Basal Tena.

El campo ANPA está constituido por una estructura anticlinal alargado de orientación Norte-Sur, de 15 Km. de largo, con un ancho promedio de 2.5 Km. de este a oeste, con un área aproximada de 3250 acres, presentando una falla sedimentaria inversa sub-vertical de alto ángulo que sirve de sello hacia el este con su lado levantado hacia el oeste; el campo además presenta un cierre estructural de 200 pies de desplazamiento vertical.

En este campo aparecen las formaciones cretácicas Tena y Napo con presencia de hidrocarburos, y los yacimientos productores son las areniscas Basal Tena (secundaria), Napo “U” y Napo “T”.

Las areniscas “U” y “T” tienen cantidades significativas de hidrocarburos, pero sus acuíferos son parcialmente activos y actúan arealmente por zonas a lo largo del campo. Los datos sísmicos indican que esta falla disminuye hacia arriba y termina en la formación Basal Tena.

La fase compresiva que formó la estructura es de edad turoniana-mastrichtiana y produjo una deformación sin-sedimentaria sincrónica con la depositación de Napo Medio-Superior y Tena Inferior.

1.3. Estratigrafía

En base a estudios de núcleos del campo ANPA y de los campos adyacentes (Guanta-Dureno, Atacapi), así como los registros eléctricos de los pozos; se concluyó que los yacimientos “U” y “T” son parte de un ambiente deltaico. El rumbo sedimentario es de norte a sur.

1.3.1. Formación Basal Tena

El mapa de depositación ambiental y de datos sísmicos sugiere que Basal Tena fue depositada en un canal

erosionado con un potencial hidrocarburífero probado, en una superficie de discontinuidad al tope de la formación Napo.

Las profundidades promedio a las que se encuentra esta arenisca varían entre 8690 a 8837 pies de profundidad en el campo ANPA. Esta arenisca de relleno es generalmente delgada, de 16 pies de potencial, se asume que la fuente de hidrocarburos son las lutitas marinas que yacen debajo.

La porosidad más alta obtenida en esta arenisca es de 16 % y está en el centro del canal cerca del pozo Anpa-04. En el pozo Anpa-07 se encontró 8 pies de arena saturada de hidrocarburos.

1.3.2. Formación Napo

Esta formación comprende los reservorios característicos de las unidades “U” y “T”. Por el contrario a la parte basal la cual es muy reducida. Ambiente predominante deltaico con influencia fluvial predominante y menor influencia mareal.

El ancho de los canales sobre la base de presiones, varía entre 130 a 420 pies para “T” y 900 pies para “U”.

Las secuencias arenosas “U” y “T” son cuarzosas en sus partes basales, y contienen abundante glauconita en sus porciones superiores.

1.3.2.1. Formación “U”

En esta arena el ambiente de depositación predominante es un complejo de canal distributario y está asociado a las barras de desembocadura y de rebalse depositadas a medida que el mar transgredía, su tendencia es esencialmente paralela al eje estructural, como consecuencia el yacimiento es extremadamente complejo y variable de pozo a pozo.

Las profundidades promedio a las que se encuentra esta arena varían entre 9440 a 9470 pies de profundidad para el nivel superior, 9470 a 9500 pies de profundidad para el nivel intermedio y de 9500 a 9560 pies de profundidad para el nivel inferior.

La saturación de petróleo tiene su mayor desarrollo en la parte central, se muestra una disminución con

el decrecimiento de la posición estructural en los pozos Anpa-04, Anpa-01 y Anpa-02. En el pozo Anpa-08 simultáneamente perforado se encontró 15 pies de arena saturada de petróleo con resultados positivos.

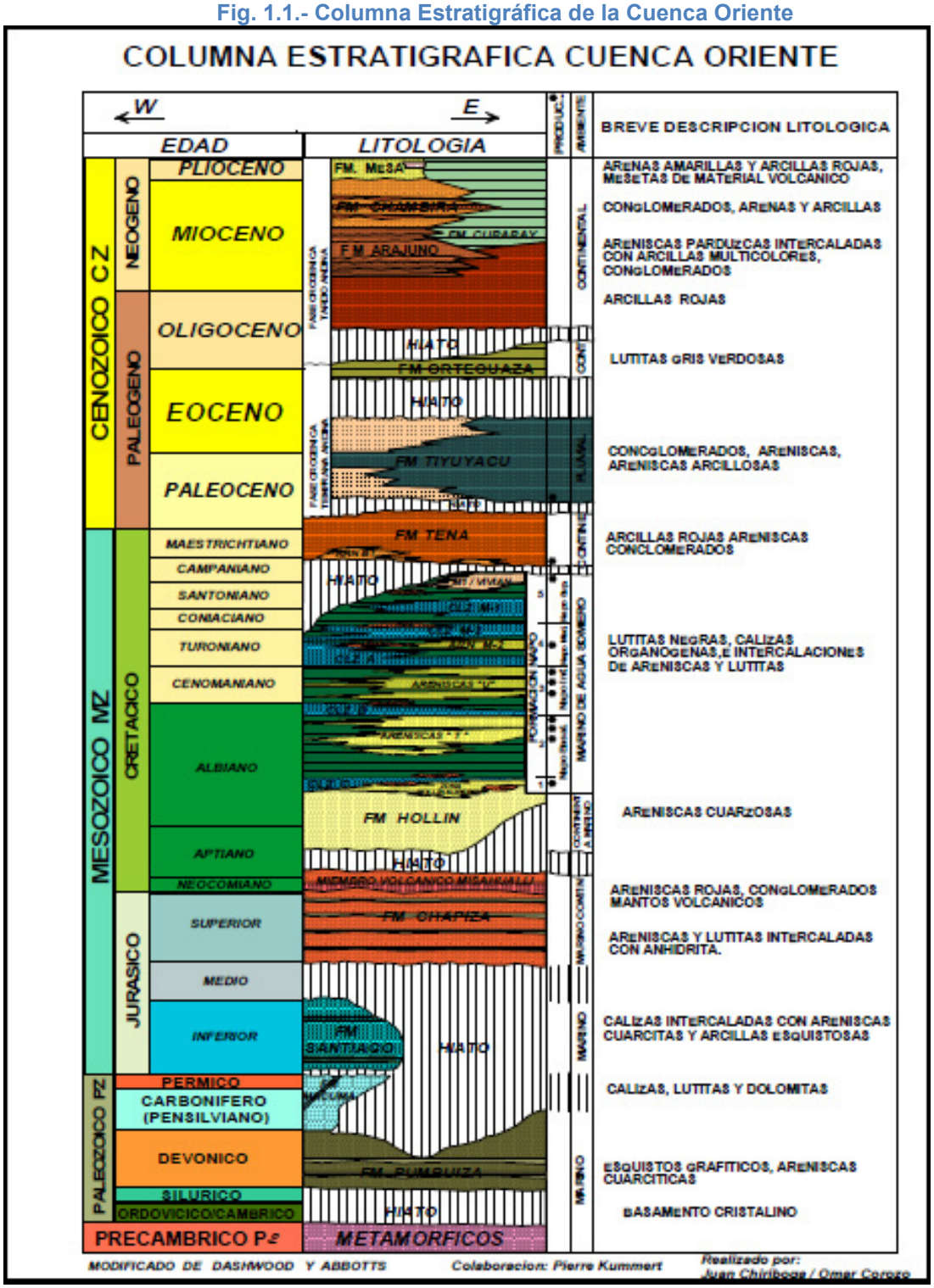
1.3.2.2. Formación “T”

Esta arena está dominada por canales distributarios delgados de arenas de barra de desembocadura. Ninguno de los pozos ha penetrado la sección gruesa del canal.

Las profundidades promedio a las que se encuentra esta arena varían entre 9645 a 9690 pies de profundidad para el nivel superior y de 9690 a 9750 pies de profundidad para el nivel inferior.

La porosidad alcanza su valor máximo de cerca del 14 % en la barra de desembocadura en el pozo Anpa-03 y un espesor de 15 pies, en el pozo Anpa-07 se encontró 10 pies de arena saturada de petróleo con buenos resultados.

Fig. 1.1.- Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriente



Fuente: PETROPRODUCCIÓN DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFÍA

1.4. Litología

1.4.1. Formación Basal Tena

Litológicamente se trata de una arenisca cuarzosa transparente, hializa, de grano grueso a muy grueso, subangular, mala clasificación, firme, cemento ligeramente calcáreo, con hidrocarburos, florescencia natural discontinua amarilla blanquecina; corte rápido, residuo café claro.

1.4.2. Formación “U” Superior

Arenisca friable de cuarzo de color gris claro de grano muy fino a fino, de subangular a subredondeada, con cemento calcáreo, con buena presencia de hidrocarburos, de fluorescencia amarilla blanquecina, de corte instantáneo sin residuo.

1.4.3. Formación “U” Inferior

Se presenta como una arenisca firme de cuarzo monocristalino de color café claro; hialina, firme, grano medio grueso, subangular, mala clasificación, cemento ligeramente silíceo, con trazas de glauconita, saturada de hidrocarburos; corte rápido, fluorescencia amarillo blanquecina, sin residuo.

1.4.4. Formación “T”

Se presenta como una arenisca friable de cuarzo de color gris verdosa, firme de grano muy fino a fino, de subangular a redondeada, mal clasificada, bien glauconítica con cemento calcáreo, saturada de hidrocarburo; fluorescencia blanquecina, corte rápido, sin residuo.

1.4.5. Formación “Hollín”

Arenisca friable de cuarzo, de color gris claro, hialino de grano medio a grueso, de angular a subangular subredondeado, clasificación regular a seleccionada, hacia abajo el tamaño del grano aumenta, presenta ligeramente granos de glauconita con trazas de hidrocarburos, el cemento es silíceo. En el campo ANPA no se encontró petróleo en este nivel, pero se podría encontrar pequeños yacimientos de esta arena en la parte más alta del campo.

1.5. Ambiente Sedimentario

1.5.1. Formación Basal Tena

De acuerdo con la interpretación de los datos sísmicos obtenidos, el ambiente de sedimentación pertenece a facies

fluviales, con areniscas generalmente delgadas, cerca de 16 pies de espesor, pero con un potencial hidrocarburífero muy bueno, ya que existen estratos generadores por debajo de esa arenisca. El pozo Anpa-04 fue perforado cerca de un antiguo canal principal, obteniendo una arenisca de alta porosidad (16%).

1.5.2. Formación “U”

El ambiente de sedimentación de esta arenisca pertenece a canales fluviales y barras de delta, las cuales están ligadas a canales y regresiones. La dirección de la sedimentación es casi paralela al rumbo de la estructura, debido a lo cual el reservorio varía bastante de un pozo a otro.

1.5.3. Formación “T” Superior

El ambiente de sedimentación pertenece a canales fluviales y barras de delta.

1.5.4. Formación “T” Inferior

Este es el reservorio más importante, su ambiente de sedimentación corresponde a una combinación de canales y barras delta.

Las secuencias arenosas “U” y “T” son cuarzosas en sus partes basales y contienen abundante glauconita en sus porciones superiores, lo que se corresponde con una etapa de plataforma. Las lutitas negras y los cuerpos calcáreos A y B, depositados sobre la secuencia, se desarrollaron en un pro-delta según SSI (Scientific Software Intercomp 2003).

1.6. Petrofísica

Petrofísica es el estudio de las relaciones que existen entre las propiedades físicas y texturales de una roca con los fluidos que contienen en estado estático, es decir, es de interés tanto geológico como de ingeniería.

Saber la petrofísica de la roca reservorio es un factor muy importante dentro de la caracterización de los reservorios y del cálculo de reservas. A continuación daremos una definición acertada de las propiedades petrofísicas del campo ANPA.

1.6.1. Porosidad (ϕ)

La porosidad se la define como el porcentaje del volumen total de una roca, constituida por espacios vacíos, que representa su porosidad absoluta.

$$\%\emptyset = \frac{V_p}{V_t} \times 100$$ **Ecuación 1.1**

Donde:

$\%\emptyset = Porcentaje\ de\ porosidad\ total\ ó\ absoluta\ (\%)$

$V_p = Volumen\ poroso$

$V_t = Volumen\ total\ de\ la\ roca$

La porosidad efectiva es el volumen total de los espacios porosos, interconectados de manera que permiten el paso de fluidos a través de ellos, es por lo general de un 5% - 10% inferior que la porosidad absoluta.

Tabla 1.2. Rangos de Porosidad en las Rocas Reservorio

RANGOS DE POROSIDAD EN LAS ROCAS RESERVORIOS	
Descartable	0 % - 5 %
Pobre	5 % - 10 %
Regular	10 % - 15 %
Bueno	15 % - 20 %
Muy bueno	20 % - 25 %

Para materiales intergranulares, con una cementación pobre o moderada, la porosidad total es aproximadamente igual a la

porosidad efectiva. Para materiales mejor cementados y para calizas, se puede encontrar grandes diferencias entre porosidad total y efectiva.

De acuerdo a su origen la porosidad también puede ser clasificada como primaria y secundaria.

A la porosidad primaria se le denomina también porosidad original, porque es una característica inherente de la roca, la porosidad primaria ó intergranular en las rocas sedimentarias es la resultante de la acumulación de material detrítico u orgánico; es decir, que se desarrolló al mismo tiempo en que los sedimentos fueron depositados.

Esta porosidad es de máxima importancia en las areniscas y está determinada por la distribución y la forma de los poros, su grado de interconexión y su distribución en la roca sedimentaria.

La porosidad secundaria es el resultado de algún tipo de actividad geológica después que los sedimentos se hayan convertido en rocas.

1.6.2. Permeabilidad (k)

Tomando como referencia la descripción del Instituto Americano del Petróleo (API), la permeabilidad es la capacidad de los fluidos de desplazarse entre los espacios que conectan los poros de una masa porosa; o la conductividad de un cuerpo poroso a los fluidos.

En el año de 1856, Henry Darcy investigó el flujo de agua a través de filtros de arena para purificación de agua. Y el resultado de los análisis fue determinado mediante la ecuación de Darcy:

$$\boldsymbol{q = \frac{KA}{\mu}\frac{\Delta p}{L}}$$ **Ecuación 1.2**

La constante de proporcionalidad K es una característica del paquete de arena. Darcy realizó sus investigaciones con cilindros de arena saturados 100% de agua.

Donde:

$q = Caudal\ a\ través\ del\ cilindro\ de\ arena\ (Bls/día)$

$K = Constante\ de\ proporcionalidad\ (darcys)$

$A = Área\ transversal\ (pie^2)$

$\Delta p = Presión\ diferencial\ (psi)$

$L = Longitud\ (pie)$

Posteriores investigaciones determinaron que la ley de Darcy puede ser utilizada con otros fluidos y que la constante de proporcionalidad K puede ser escrita como $\frac{K}{\mu}$, donde μ es la viscosidad del fluido y K es la constante de proporcionalidad para la roca. La ecuación generalizada de la ley de Darcy es:

$$\frac{q}{A} = -\frac{K}{\mu}\left(\frac{\partial p}{\partial s} - g\rho\frac{\partial z}{\partial s}\right)$$ **Ecuación 1.3**

Donde:

$q = Caudal\ que\ atraviesa\ el\ área\ transversal\ (Bls/día)$

$A = Área\ transversal\ (pie^2)$

$K = Constante\ de\ proporcionalidad\ de\ la\ roca\ (darcys)$

$\mu = Viscosidad\ del\ fluido\ (cp)$

$\frac{\partial p}{\partial s} = Gradiente\ de\ presión\ en\ la\ dirección\ s$

$g = Aceleración\ gravitacional\ (m/seg^2)$

$\rho = Densidad\ del\ fluido\ (gr/cm^3)$

$\frac{\partial z}{\partial s} = \sin\theta, donde\ \theta, es\ el\ ángulo\ entre\ \ s\ y\ la\ horizontal$

La industria del petróleo ha adoptado el Darcy como unidad de permeabilidad (usualmente se trabaja en milidarcys), la cual se define de la siguiente manera: “Un medio poroso tiene una permeabilidad de un Darcy cuando un fluido de una sola fase de un centipoise de viscosidad llena completamente el espacio vacío del medio, fluye a través de este bajo condiciones de flujo viscoso, a un caudal de un centímetro cúbico por segundo por centímetro cuadrado de área transversal, bajo una presión o gradiente hidráulico equivalente a una atmósfera por centímetro”.

Tabla 1.3. Rangos de Permeabilidad en las Rocas Reservorio

REGULAR	1 - 10 md
BUENA	10 - 100 md
MUY BUENA	100 - 1000 md
EXCELENTE	> 1000 md

Se conocen tres tipos de permeabilidades que son la Permeabilidad absoluta (k), Efectiva (ke) y Relativa (kr).

La permeabilidad absoluta es cuando existe una sola fase en el medio poroso y que lo satura 100%, mientras que la permeabilidad efectiva es cuando existe más de una fase en

el medio poroso que fluyen simultáneamente (es función de la saturación del fluido considerado Ko, Kw, Kg).

Finalmente la permeabilidad relativa (Kr) se refiere a la relación entre la permeabilidad efectiva (Ke) y la permeabilidad absoluta (K). Esta permeabilidad también será función de la saturación del fluido y siempre será menor que la unidad.

$$\boldsymbol{K_r = \frac{K_e}{K}}$$ **Ecuación 1.4**

La permeabilidad relativa de una roca a cualquier fluido aumenta a medida que incrementa su grado de saturación con ese fluido, hasta que finalmente al llegar a una saturación del 100%, se alcanza el valor K.

1.6.3. Saturación de Fluidos

Además de la capacidad de almacenamiento y la conductividad de un cuerpo poroso a los fluidos, otra propiedad muy importante es la saturación de fluidos.

La saturación de un medio poroso con respecto a un fluido se define como la fracción del volumen poroso de una roca que está ocupado por ese fluido. En consecuencia, para determinar la cantidad de hidrocarburos acumulados en un medio poroso es necesario conocer la saturación de fluidos (petróleo, agua y gas) de la formación, teniéndose la expresión siguiente para la saturación de petróleo.

$$\boldsymbol{S_o = \frac{V_o}{V_p}}$$ **Ecuación 1.5**

Donde:

$S_o = Saturación\ de\ petróleo$

$V_o = Volumen\ ocupado\ por\ la\ fase\ petróleo$

$V_p = Volumen\ poroso\ total\ de\ la\ roca$

De manera muy similar para la saturación de agua tenemos la expresión:

$$\boldsymbol{S_w = \frac{V_w}{V_p}}$$ **Ecuación 1.6**

Donde:

$S_w = Saturación\ de\ agua$

$V_w = Volumen\ ocupado\ por\ la\ fase\ agua$

$V_p = Volumen\ poroso\ total\ de\ la\ roca$

Finalmente la expresión para la saturación de gas es:

$$\boldsymbol{S_g = \frac{V_g}{V_p}}$$ **Ecuación 1.7**

Donde:

$S_g = Saturación\ de\ gas$

$V_g = Volumen\ ocupado\ por\ la\ fase\ gas$

$V_p = Volumen\ poroso\ total\ de\ la\ roca$

La sumatoria de las saturaciones de todos los fluidos que se encuentran presentes en el espacio poroso de una roca, debe ser igual a 1. Si consideramos un medio poroso saturado por petróleo, agua y gas, tenemos:

$$\boldsymbol{S_o + S_w + S_g = 1}$$ **Ecuación 1.8**

1.7. Petrofísica del Campo

Para determinar las propiedades petrofísicas de los yacimientos del campo ANPA se ha procedido a realizar la evaluación e interpretación de los perfiles eléctricos corridos en los pozos, los mismos que fueron realizados con el programa Interactive Petrophysic (IP), con el propósito de cuantificar los parámetros petrofísicos de las zonas de interés, este programa fue proporcionado por la Subgerencia de Exploración y Desarrollo de Petroproducción.

Para la evaluación de los perfiles eléctricos se determinó en primer lugar el volumen de arcilla presente en la formación (Vsh), tomando en cuenta dos indicadores de arcillosidad, principalmente el registro Gamma-Ray, y el Neutrónico. La porosidad fue derivada principalmente del registro Neutrón-Density.

A continuación se presenta los datos de permeabilidad y porosidad promedios del campo “ANPA”.

Tabla 1.4. Porosidad y Permeabilidad de los Yacimientos en el Campo ANPA

FORMACIÓN	POROSIDAD PROMEDIO (%)	PERMEABILIDAD PROMEDIO (md)
BASAL TENA	18	600
NAPO "U"	16	100
NAPO "T" SUP.	14	1000
NAPO "T" INF.	18	500

El programa Interactive Petrophysic utiliza el método de Gamma Ray (GR) también conocido como método lineal, este se basa en las mayores deflexiones de las curvas del GR ya que éstas indican los intervalos de arenisca y arcillas.

Otras características petrofísicas y de los fluidos del campo “ANPA” se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1.5. Características del Campo ANPA

FORMACIÓN	PROF. [fts]	TEMP. [F]	API	Bo [RB/STB]	SALINIDAD [ppm]	Sw [%]	Rs [SCF/STB]	Pb [psi]	GOR [SCF/STB]
BASAL TENA	7830	195	18.9	1.138	70000	22	162	778	162
NAPO "U"	8555	202	28.2	1.219	70000	17	390	1485	463
NAPO "T"	8860	195	32.1	1.280	15000	20	540	1283	396

1.8. Mecánica de Rocas

La finalidad de la mecánica de rocas es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos.

En esta sección se presentan las definiciones comúnmente utilizadas, que en definitiva constituyen las bases fundamentales para comprender el proceso de fracturamiento hidráulico en formaciones productoras de hidrocarburos.

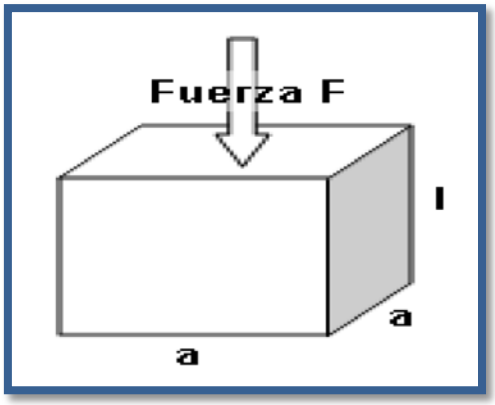
1.8.1. Esfuerzo

Cuando un material es sometido a una fuerza, este sufre una deformación, pero si al retirar el esfuerzo aplicado sobre el material y este recupera su forma original se dice que es un material del tipo elástico, para el caso en que el material no recupere su forma original es decir que quede deformado permanentemente se dice que el material en cuestión es del tipo plástico.

Se define como esfuerzo a la razón de la fuerza que se aplica sobre la superficie de un área elemental, ésta acción es la

intensidad de la fuerza llamada esfuerzo, y se la determina así:

Fig. 1.2. Esfuerzo Aplicado sobre un Material



$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{A}} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{a^2}}$$ **Ecuación 1.9**

Donde:

$\sigma = Esfuerzo, N/m^2$ ó $brevemente\ Pa\ (psi)$

$F = Fuerza\ N\ (lbf)$

$A = Área\ donde\ se\ aplica\ la\ fuerza\ \ (m^2)$

1.8.2. Deformación

Se define a la deformación como la compresión (positiva) o extensión (negativa) de un material como resultado de la aplicación de fuerzas externas, dividida para su dimensión original. La ecuación equivalente para la deformación unitaria es:

$$\boldsymbol{\varepsilon_z = \frac{\Delta l}{l}}$$ **Ecuación 1.10**

Donde:

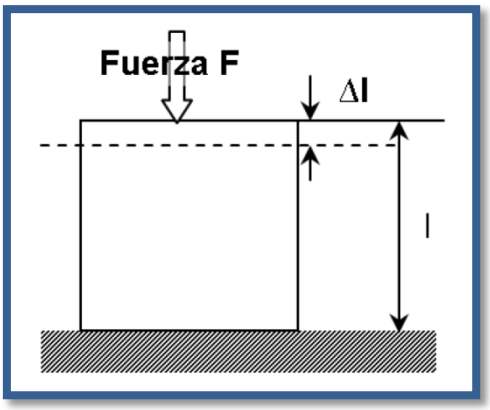
$\Delta l = Variación\ de\ la\ longitud$

$l = Longitud\ original$

$\varepsilon_z = Deformación\ unitaria$

La fuerza (F) mostrada en la figura 1.2 es compresional y su aplicación produce un acortamiento (Δl), que se lo relaciona con su dimensión original (l), como se puede observar en la figura 1.3, a esto se conoce como Deformación Unitaria (ε_z).

Fig. 1.3. Deformación Unitaria de un Material

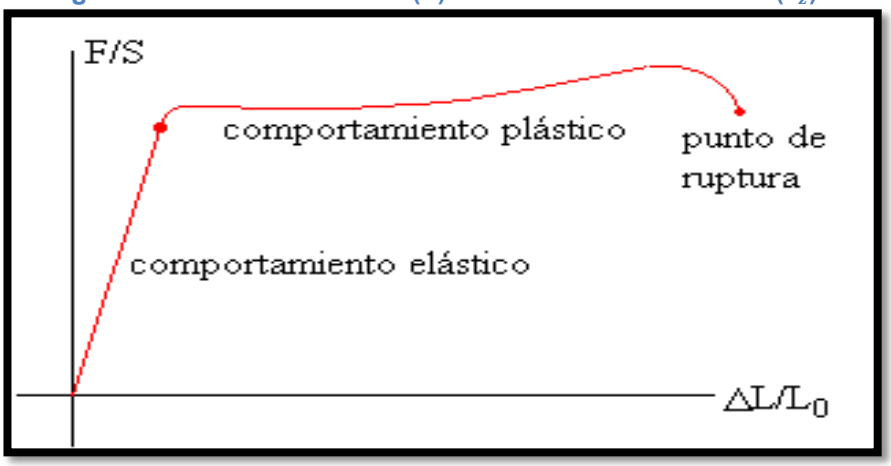


Como se dijo en este ejemplo de la figura 1.3, la fuerza es compresional pero puede aplicarse una fuerza (F) de tracción.

El concepto de esfuerzo (σ) no cambia, pero para identificar los sentidos se ha acordado que las tensiones de compresión sean positivas ($+\sigma$) y las tensiones de tracción sean negativas ($-\sigma$).

Una gráfica que relaciona los dos conceptos anteriormente vistos, es decir los de "Esfuerzo y Deformación Unitaria", es la que se muestra en la figura 1.4, la cual nos deja ver los tipos de comportamiento que va adquiriendo el material a medida que la fuerza aplicada aumenta progresivamente.

Fig. 1.4. Gráfica de Esfuerzo (σ) vs. Deformación Unitaria (ε_z)



Aquí vemos que cuando aplicamos un esfuerzo (σ), el material se deforma (ε_z), inicialmente en forma proporcional y luego a mayores valores de (σ) se produce lo que se conoce como una ruptura del material.

La denominada “Ley de Hooke” es aquella que establece una relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación del material y a cuyo resultado le asigna el nombre de módulo elástico de Young.

1.8.3. Módulo Elástico de Young

El módulo elástico de Young (E) está expresado en unidades de presión y constituye la rigidez de un material, es decir describe la respuesta del material a la deformación en la misma dirección de la aplicación del esfuerzo y se lo define como la razón entre la variación de la deformación en la dirección de la aplicación del esfuerzo como se indica en la ecuación siguiente:

$$\boldsymbol{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_z}}$$ **Ecuación 1.11**

Donde:

$E = Módulo\ de\ Young$

$\sigma = Esfuerzo$

$\varepsilon_z = Deformación\ unitaria$

A continuación se presenta una tabla de referencia con distintos tipos de materiales con los correspondientes valores que adquiere (E).

Tabla 1.6. Algunos Valores del Módulo de Young (E)

Valores Típicos de E:	
Acero:	$30x10^6$ [psi]
Cierta Caliza:	$7x10^6$ [psi]
Cierta Arenisca:	$5x10^6$ [psi]

1.8.4. Módulo de Poisson.

Cuando por la aplicación de un esfuerzo un material se acorta longitudinalmente, éste tiende a dilatarse o expandirse, lo que se conoce como una deformación transversal. La deformación transversal se la expresa de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{\varepsilon_y = \frac{\Delta a}{a}}$$ **Ecuación 1.12**

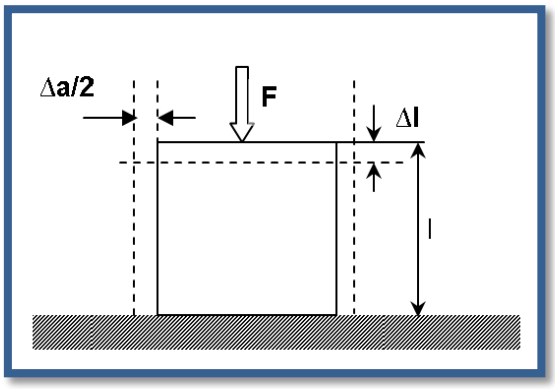
Donde:

$\Delta a = Variación\ de\ área$

$a = Área\ tranversal\ original$

$\varepsilon_y = Deformación\ transversal$

Fig. 1.5. Deformación Transversal de un Material



El Módulo de Poisson lo que hace es describir la respuesta a la deformación del material en dirección perpendicular a la dirección que se ha aplicado el esfuerzo.

Es decir se lo define como la relación de la expansión lateral a una contracción longitudinal de un material bajo un esfuerzo unidireccional, el cual indica cuánta deformación transversal provoca cierta deformación axial, así:

$$v = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$ **Ecuación 1.13**

Donde:

$\mathcal{E}_y = Deformación\ transversal$

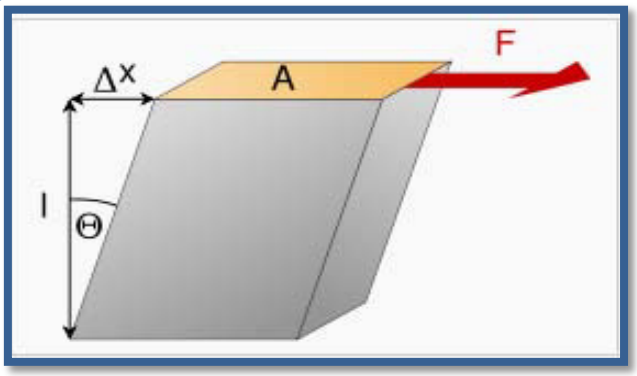
$\mathcal{E}_z = Deformación\ unitaria$

$\mathcal{V} = Módulo\ de\ Poisson$

1.8.5. Módulo de Corte

El módulo de corte ó cizalla tiene como finalidad caracterizar el cambio de forma de un material cuando es sometido a esfuerzos cortantes.

Fig. 1.6. Deformación de Corte o Cizalla de un Material

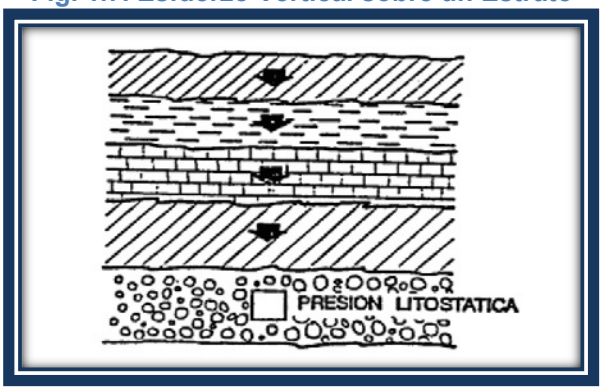


El módulo de corte (G) está relacionado con el módulo de Young (E) y el módulo de Poisson (v) de la siguiente manera:

$$G = \frac{E}{2(1+v)}$$ **Ecuación 1.14**

Una formación a una profundidad determinada se encuentra sujeta a un campo de esfuerzos, donde el esfuerzo vertical absoluto es el más fácil de entender ya que lo constituye únicamente el peso de los estratos.

Fig. 1.7. Esfuerzo Vertical sobre un Estrato



Pero en definitiva la relación de esfuerzos y deformación anteriormente vistas para el caso específico de la roca de los yacimientos de hidrocarburos está influenciado por un significativo número de factores como:

- Composición y litología de la roca
- Grado de cementación
- Cantidad y tipo de fluido en el medio poroso
- Porosidad
- Permeabilidad
- Presión del yacimiento
- Temperatura de la formación

CAPÍTULO 2

2. DAÑO DE FORMACIÓN

2.1. Definición

Una definición bastante completa de lo que es el daño de formación es la que lo considera como: “Cualquier restricción al flujo de fluidos que distorsiona las líneas de flujo desde el yacimiento hacia el pozo con lo que se ve disminuida significativamente la productividad del pozo; ocasionando una caída de presión adicional en las cercanías del mismo”.

Pero aparte de esta definición existe otra que está más centrada a la producción de hidrocarburos que es lo que en definitiva es de nuestro interés, y esta nos dice que: “Daño de formación es la reducción de la capacidad original de flujo de un pozo debido a la

disminución de la permeabilidad relativa a los hidrocarburos en el yacimiento". Como se puede apreciar en ambas definiciones se concuerda que el daño de formación se lo relaciona con disminución de capacidad de flujo desde el yacimiento al pozo, por eso ambas son muy válidas y de fácil comprensión para este fenómeno que se da en las inmediaciones entre el pozo y nuestra zona productora.

2.2. Origen del Daño de Formación

El daño de formación puede originarse durante las etapas de la vida de un pozo.

2.2.1. Daño Durante la Perforación

El daño de formación originado por la perforación del pozo se lo puede dividir en dos partes: la primera se refiere a lo que es la invasión de los sólidos de perforación y la segunda hace referencia a lo que es la invasión de fluidos de perforación, en ambos casos dicha invasión ocurre hacia la formación.

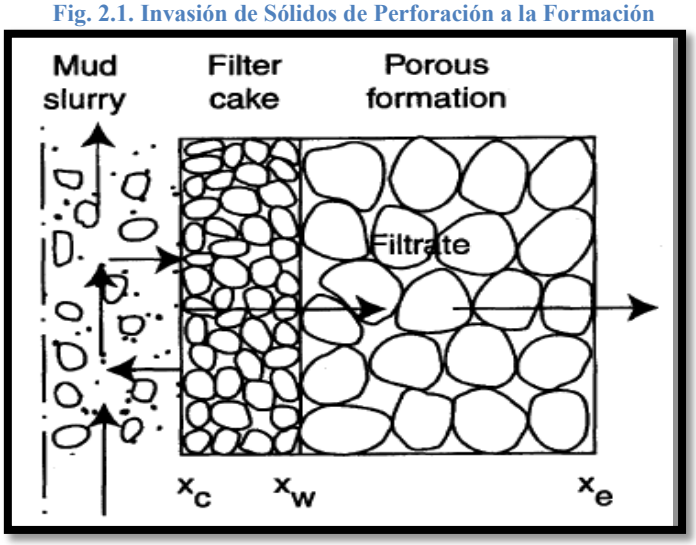
2.2.2. Invasión de Sólidos de Perforación

Las partículas sólidas como arcillas, cutting, agentes densificantes y viscosificantes que se encuentran contenidas

en los fluidos de perforación cuando son forzadas hacia la formación productora pueden ir progresivamente reduciendo la porosidad y permeabilidad de la roca reservorio.

Este daño causado por las partículas sólidas a pesar de que está limitado a tan solo unos 10 cm hacia el interior y alrededor del pozo puede reducir considerablemente la permeabilidad hasta en un 90%.

Fig. 2.1. Invasión de Sólidos de Perforación a la Formación



2.2.2.1. Causas que Favorecen la Invasión de Sólidos de Perforación

Entre las principales tenemos las siguientes:

1. Poros de gran tamaño en la roca reservorio.

2. Presencia de fisuras y fracturas naturales.
3. Partículas de pequeño diámetro entre los componentes del lodo de perforación, sobre todo cuando se usan densificantes.
4. Baja velocidad de perforación, como consecuencia destrucción del revoque (mudcake) permitiendo el contacto entre el lodo y la formación, efecto que se ve incrementado por el extenso tiempo de contacto debido a la baja velocidad de penetración.
5. Baja velocidad de circulación, con la consecuente trituración de los recortes a partículas más pequeñas debidas a la re-perforación. (se detecta el cutting redondeado en superficie – perforita).
6. Alta velocidad de circulación, se erosiona el revoque y se pone en contacto el lodo con la formación.
7. Alta presión hidrostática de fondo, como consecuencia de una alta densidad del lodo de perforación, favoreciendo el ingreso de lodo desde el pozo a la formación.

2.2.3. Invasión de Fluidos de Perforación

La fase liquida de un lodo de perforación está constituida por varios componentes que también pueden dañar a la formación productora, además hay que considerar el hecho que la invasión de fluidos es mucho más profunda que la invasión de sólidos, puesto que puede llegar a ser superior a los 5 metros.

Sin embargo la severidad del daño de formación por esta causa es variable, ya que existen casos en que el agua de formación es compatible químicamente con el fluido de perforación y en estos casos el daño provocado por este fluido no es tan severo. Por ejemplo la alta permeabilidad de las arenas limpias, que tienen mayor invasión de filtrado que una roca de baja permeabilidad, usualmente no son afectadas cuando el agua de formación es compatible químicamente con el filtrado. No así las formaciones que contienen arcillas ya que son en general las más sensibles, puesto que las arcillas pueden dispersarse, precipitarse o hincharse.

Las arcillas son extremadamente sensibles a los cambios de salinidad, por lo tanto, cualquier cambio en la concentración o

en el tipo de sales del agua original del reservorio producen severos cambios en la porosidad.

En particular, la reducción de la salinidad o el incremento del PH del agua alrededor de la partícula de arcilla ocasionan dispersión de la misma. Cuando las arcillas se dispersan actúan como pequeñas partículas sólidas que pueden migrar de poro en poro, pero con la complicación de que tienen la capacidad de acumularse y cerrar al poro totalmente, dependiendo del tipo de arcilla y del tamaño de las partículas.

2.2.3.1. Causas que Favorecen la Invasión de Fluidos de Perforación

Entre las principales mencionamos:

1. Alta permeabilidad del revoque a causa de un mal diseño del lodo de perforación u operaciones que disminuyen la capacidad de aislamiento del mismo.
2. Alta presión diferencial, que favorece el ingreso de la inyección hacia la formación.

3. Prolongado contacto de la formación con el lodo de perforación puesto que la profundidad de penetración del filtrado es función del tiempo de contacto.

El filtrado de los lodos de perforación de base agua puede tener una baja salinidad y un alto valor de PH, así como también pueden tener dispersantes y polímeros. El agua es una causa de la perturbación de las arcillas y de bloqueo del flujo por permeabilidad relativa en reservorios de baja permeabilidad. Los dispersantes pueden agravar las consecuencias de la presencia de arcillas y facilitar la precipitación en el interior de los poros. Los polímeros son estables a las temperaturas de circulación, pero pueden descomponerse, cocinarse y formar residuos cuando son sometidos a las estables temperaturas de reservorio en intervalos prolongados de tiempo.

Los lodos de perforación a base de agua salada, generan filtrados que pueden reaccionar con las sales de formación y precipitar varios tipos de compuestos y partículas.

Cuando la circulación durante la perforación se hace a caudales más o menos elevados, el filtrado que invade la formación está a temperatura de pozo, muy por debajo de la temperatura de reservorio, y el enfriamiento producido genera la precipitación de asfaltenos y parafinas.

Los lodos de base petróleo traen mucho menos inconvenientes ante la presencia de arcillas, aunque hay que tener en cuenta que estos inconvenientes son mucho más severos. Las desventajas de un lodo de base petróleo son:

i. Contienen mayor concentración de sólidos que un lodo de base agua y por lo tanto la invasión de sólidos es mucho más acentuada.

ii. Los fuertes surfactantes usados para dispersar sólidos en lodos de base petróleo, hacen que la roca reservorio sea mojada por el petróleo, reduciendo la permeabilidad relativa al petróleo.

2.2.4. Daño Durante la Cementación

El principal objetivo de la cementación primaria es lograr un perfecto aislamiento entre el anular y la pared del pozo. Para ejecutar este tipo de cementación es necesario la remoción completa del revoque, para lo cual se utiliza algún dispositivo como los caños lavadores, todos estos dispositivos deben trabajar con flujo a regímenes turbulentos.

Durante este proceso el revoque puede ser sólo parcialmente destruido con lo que la posterior cementación no puede ser lo suficientemente buena y la formación puede quedar poco protegida a la invasión del filtrado.

El daño por cementación está relacionado básicamente por el filtrado del fluido de lavado hacia la formación, por la lechada de cemento y lo que tiene que ver con la compresión del cemento.

2.2.4.1. Daño por Fluido de Lavado

Los fluidos de lavado siempre contienen grandes cantidades de dispersantes para suspender y acarrear las partículas del revoque. La invasión de

estos fluidos a formaciones que contienen arcillas ocasiona problemas adicionales de migración de las arcillas al interior del sistema poroso y dispersión de las mismas.

Aunque la duración del trabajo de cementación es bastante corto comparado con el de perforación. La invasión de los fluidos del lavado es insignificante respecto a la invasión de fluidos de perforación, pero esto no quiere decir que pueda despreciarse.

2.2.4.2. Daño por Lechada de Cemento

El tamaño desordenado de los granos que conforman al cemento, junto con el uso de agentes de deshidratación muy eficaces, resultan en una limitada filtración de sólidos y filtrado provenientes de la lechada de cemento, sin embargo, existen causas por la que puede decaer la permeabilidad:

1. El PH relativamente alto del filtrado de la lechada afecta a los minerales arcillosos de la formación. El resultado es una modificación de las

propiedades del filtrado del cemento, no solo perdiendo su capacidad como estabilizador, si no que haciendo un agente desestabilizador.

2. El filtrado de cemento entra en contacto con el agua connata de la formación, que contiene grandes cantidades de Ca++, provocando la precipitación de carbonatos o silicatos cálcicos hidratados.

2.2.4.3. Daño por Compresión de Cemento

La etapa de compresión del cemento produce daños severos en arenas no consolidadas durante la cementación secundaria (squeeze). Las altas presiones de compresión del cemento durante la cementación secundaria tendrían que ver con la fractura de la roca y la invasión de la lechada.

2.2.5. Daños por Punzados

La operación de punzado siempre ocasiona daños adicionales en la formación, puesto que cualquiera sea el método de punzado que se utilice, éste compacta la roca de la zona atravesada por el proyectil, aumentando la dureza de la

superficie y reduciendo la porosidad local de la misma hasta en un 80%.

En cuanto a este tipo de daño existen otros factores que tienden a reducir la productividad:

1. Compactación de la roca alrededor de los agujeros con la consecuente reducción en la permeabilidad local.
2. La sobrepresión introduce restos de formación e introduce fluidos con sólidos en la formación.
3. Penetración insuficiente, que se da por la resistencia que presenta la roca, y puede no ser suficiente para crear los mencionados canales de by-pass.
4. Inadecuada selección de la geometría. Se prefiere baja penetración pero con gran diámetro en formaciones blandas, mientras que es conveniente elegir pequeños diámetros y gran profundidad en formaciones duras.
5. Inadecuada elección de la presión diferencial ya que una presión insuficiente pueden no dar el resultado esperado, mientras que presiones excesivas pueden fundir la roca en las inmediaciones del agujero, generando una pared de vidrio totalmente impermeable.

2.2.6. Daños Durante la Producción

En la etapa de producción de un pozo, se producen también daños a la formación, puesto que la arena productora es débil y sus granos se desmoronan por el flujo de los fluidos hacia el pozo, provocando migración de finos, los que se mueven a través de los poros del yacimiento y van taponando los espacios porales, reduciendo así la capacidad de aporte de fluidos hacia el pozo, ocasionada por la reducción de permeabilidad.

2.2.7. Daños Durante el Tratamiento Ácido

Los problemas usuales encontrados en otras fases de la vida del pozo pueden ocurrir durante el tratamiento de acidificación:

1. Materiales del tubing que son arrastrados hacia la formación, hay que tener en cuenta que los ácidos intercambian iones con los metales, en especial con los de la cañería del tubing y el casing, disminuyendo el espesor de los mismos, pudiendo llegar a dañarlos y arrastrando materiales y suciedades normales en las cañerías hacia la formación.

2. Los surfactantes utilizados para dispersar sólidos durante la acidificación e inhibir la corrosión de las cañerías del casing y el tubing por acción del ácido crean dentro del sistema poral bloques de emulsión (emulsión blocks).
3. Cuando se inyecta en la formación grandes volúmenes de ácidos el riesgo de deposición de parafinas es muy grande.
4. La roca puede perder consolidación por la disolución excesiva del cemento que conforman a la matriz.

2.2.8. Daños por Fluidos de Terminación

Las causas más comunes de daño ocasionado durante la terminación de un pozo son las siguientes:

1. Taponamiento de la formación y de los punzados a causa de los sólidos suspendidos, bacterias y residuos de polímeros que tienden a bajar la permeabilidad de la formación.
2. Hinchamiento y dispersión de arcillas, bloqueo por agua (water block) y emulsiones (emulsión block) y precipitación de incrustaciones.

Es necesario utilizar fluidos de terminación limpios empleando el uso de bactericidas. Debe estudiarse la compatibilidad del fluido de terminación con los minerales de la formación y su salinidad. Los fluidos de terminación normalmente requieren de inhibidores para controlar la corrosión. Estos últimos pueden provocar un bloqueo por emulsión, modificar la mojabilidad de la roca y precipitar el Fe++.

2.2.9. Daños Durante la Limpieza del Pozo

Cuando se limpia el pozo para remover depósitos o productos corrosivos del tubing de producción, altas concentraciones de materiales dañinos pueden invadir la formación.

Se debe tener especial cuidado en que estas suspensiones no sean forzadas hacia el sistema poroso, en particular en el caso en que los materiales son solubles en el fluido de limpieza, puesto que no se forma revoque para prevenir la invasión del filtrado. El óxido de hierro en ácido o parafinas en petróleo caliente son los más típicos componentes que se re-disuelven en el fluido de limpieza, y que pueden re-precipitar en la formación, causando un daño severo y permanente.

2.3. Causas Principales del Daño de Formación

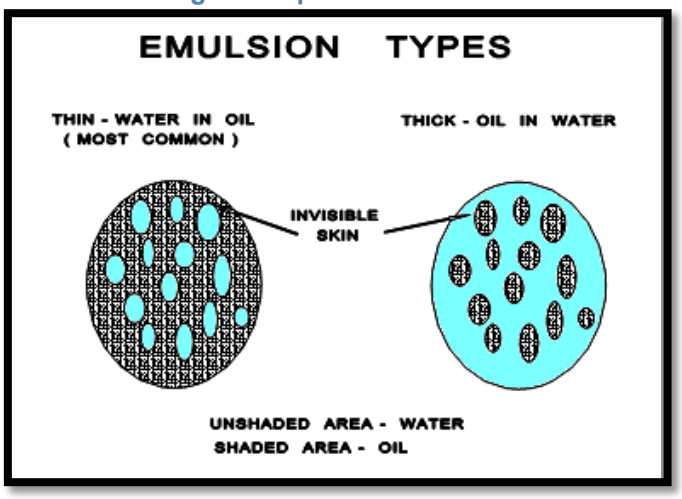
Los tipos de daño más importantes y comunes son:

2.3.1. Bloqueo por Emulsión

La mezcla de fluidos de base agua y base petróleo ocasionan emulsiones en la formación, estas emulsiones tienen la particularidad de tener viscosidades muy elevadas.

Estas emulsiones normalmente se forman durante la invasión del filtrado del lodo de perforación o durante los tratamientos posteriores. Los filtrados de alto pH como el proveniente del lodo de perforación o las lechadas de cemento; o filtrados de bajo pH como el proveniente de los fluidos del tratamiento de acidificación, pueden emulsificar algunos petróleos de la formación. De la misma manera, los filtrados de los lodos de perforación de base petróleo o fluidos de estimulación del mismo tipo, pueden formar emulsiones al entrar en contacto con las salmueras de la formación.

Fig. 2.2. Tipo de Emulsiones



Las emulsiones son estabilizadas por los agentes tensioactivos (surfactantes) que se utilizan en los tratamientos fluidos o que pueden ser formados por la interacción del fluido con la roca.

2.3.2. Cambios de Mojabilidad

La mojabilidad total o parcial del petróleo en la roca reduce la permeabilidad relativa al petróleo. Esto puede ocurrir por el fenómeno de adsorción a través de minerales activos en la superficie de la pared poral. El daño puede ser remediado a través de la inyección de solventes capaces de remover la fase de hidrocarburos que está mojando a la roca, la solución es agregar un tensioactivo fuerte, que aumente la mojabilidad del agua en la roca con el consecuente riesgo de provocar un bloqueo por emulsión. Sin embargo, un tensioactivo por sí

solo no puede hacer el trabajo, puesto que normalmente la fase de petróleo que moja la roca está compuesta de hidrocarburos pesados como asfaltenos o parafinas, debe ser aflojada primero, antes de ser removida mediante un solvente.

2.3.3. Bloqueo por Agua

El bloqueo por agua es causado por un incremento en la saturación de agua S_w en las inmediaciones del pozo, disminuyendo la permeabilidad relativa al petróleo.

Puede formarse durante las operaciones de perforación y terminación mediante la invasión de filtrados de base agua en la formación, o durante la producción, cuando aumenta la relación agua-petróleo.

El bloqueo, se ve favorecido con la presencia de arcillas intraporales, como la illita. Estas arcillas, debido a su forma particular y la dirección de su crecimiento, aumentan la superficie de contacto con el fluido, disminuyendo al mismo tiempo el tamaño de los poros y la porosidad del sistema, incrementando la retención de agua en las paredes porales.

El bloqueo por agua es usualmente tratado con agente tensioactivo, que tienen el objeto de disminuir la tensión superficial entre el agua y el petróleo o el gas. Los más comunes son los surfactantes y alcoholes. Existen algunos tipos de ácidos particularmente efectivos en el caso de reservorios de gas, que son capaces de producir la evaporación del agua de modo que salga a través de la cañería de producción junto con el gas.

2.3.4. Sarros

Los sarros son precipitados de minerales, que pueden precipitar tanto durante la perforación, como durante la producción (en el tubing) e inclusive en el interior de la formación. Normalmente esta precipitación es mucho mayor durante la producción, puesto que se ve maximizada por las bajas temperaturas y presiones en las inmediaciones del pozo.

Fig. 2.3. Depósitos Minerales en la Tubería

También se forman sarros cuando se ponen en contacto dos aguas incompatibles. Existen varios productos capaces de disolver el sarro, dependiendo de la constitución mineralógica del mismo. Los tipos más comunes de sarro encontrados son:

1. Carbonatos (CO_3Ca; $FeCO_3$), en particular el CO_3Ca es el sarro más comúnmente encontrado en reservorios ricos en calcio, carbonatos y bi-carbonatos, como calizas y dolomías. En estos casos se opta por acidificar con HCl o HF y disolver dichos carbonatos.
2. Sulfatos ($CaSO_4+2H_2O$; $CaSO_4$; $BaSO_4$; $SrSO_4$), son mucho más difíciles de remover, pero tienen la ventaja de ser más predecibles. Se soluciona mediante un producto llamado EDTA (sales de tetrasodio), jugando con el tiempo y la temperatura, a mayor tiempo de contacto y mayores temperaturas se obtienen mejores resultados.

2.3.5. Depósitos Orgánicos

Los depósitos orgánicos son precipitados de hidrocarburos pesados, normalmente asfaltenos y parafinas, y pueden ocurrir en la perforación, en el tubing y en el interior de la formación.

Los mecanismos por los cuales se origina son variados y complejos, pero el principal motivo es algún cambio en las variables termodinámicas a las que está sometido el fluido del reservorio durante el proceso de perforación, producción o in-situ en el interior del reservorio; y el mecanismo por el cual precipitan tiene que ver con la pérdida de solubilidad en el resto de los hidrocarburos, y una vez que precipita, cristaliza. La causa más común que produce este efecto sucede durante la producción, donde las inmediaciones del pozo pierden temperatura y presión.

Estos precipitados cristalizados son removidos por solventes orgánicos, son polímeros aromáticos (benceno, tolueno), pero en casos particulares en que la composición del precipitado es mayormente de asfaltenos, puede removerse simplemente con alcohol, que es más barato.

Los precipitados orgánicos no deben ser confundidos con los precipitados que se forman por la reacción química de los compuestos del petróleo con sustancias inorgánicas, que no pueden tratarse y la inyección de un solvente orgánico aumentaría el daño por descomposición; por lo tanto, es

conveniente un estudio minucioso antes de iniciar el tratamiento, en primer lugar para distinguir si se trata de un precipitado orgánico o no, y en segundo lugar para estudiar la concentración de asfaltenos en el precipitado para decidir si tratar simplemente con alcohol o usando un polímero.

2.3.6. Fangos y Arcillas

Este daño incluye la invasión de arcillas provenientes del lodo de perforación (normalmente bentonita o atapulgita) y/o por hinchamiento o migración de las arcillas inherentes de la formación.

La invasión de sólidos puede ocurrir durante los procesos de perforación, terminación o reparación del pozo, siempre que las partículas sólidas tengan un diámetro menor que el de los poros, siendo responsables de una disminución en la permeabilidad y porosidad del sistema poral de la roca.

Cuando los filtrados provenientes del lodo de perforación, fluidos de terminación, reparación o tratamientos de base agua pueden afectar al equilibrio entre el agua de formación o del filtrado y las arcillas de la formación.

Esto normalmente se debe al balance de composición y concentración de sales. De este modo, dependiendo del tipo de arcillas y la complejidad y desviación del desbalance, las arcillas pueden precipitar, migrar, disolverse, dispersarse o distorsionarse reduciendo la porosidad efectiva del reservorio.

La solución del problema depende del tipo de arcilla involucrado y de la matriz del reservorio, por ejemplo, para el caso de una arcilla que se dispersa (montmorilonita), se optará por acidificar con HF para el caso de una arenisca consolidada, o por acidificar con HCl para el caso de una caliza. Además el producto a utilizar depende también de las propiedades termodinámicas del reservorio, por ejemplo en reservorios de baja presión, como en el caso de reservorios lenticulares o de poca profundidad, es mucho más efectivo movilizar las arcillas con nitrógeno.

CAPITULO 3

3. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DEL DAÑO DE FORMACIÓN

Se ha demostrado que la respuesta de la presión del yacimiento ante diferentes cambios en la tasa de flujo, refleja la geometría y las propiedades del yacimiento. Para su análisis se han creado las denominadas “Pruebas de Presión”, las cuales se basan en la medición del disturbio de presión creado en el yacimiento , mediante cambios en la tasa de producción, que provocan variaciones en la presión de fondo fluyente (P_{wf}) con respecto al tiempo, en uno o más pozos.

Las pruebas de presión, son utilizadas para proveer la información que nos proporcionen las características del reservorio, para ayudar en la predicción del comportamiento del mismo y diagnosticando el estado de la formación (daño ó estimulación).

Las pruebas de presión se realizan con múltiples propósitos:

- Determinar la capacidad de la formación para producir hidrocarburos (permeabilidad, presión estática del yacimiento).
- Evaluar presencia de daño ó estimulación en la formación.
- Determinar la naturaleza de los fluidos y posibles contactos entre los fluidos del yacimiento (influencia de acuíferos).
- Identificar límites y barreras del yacimiento (fallas, límites estratigráficos).
- Comunicación entre pozos (pruebas de interferencia).
- Límites de un yacimiento.

Entre las más importantes pruebas que nos permiten determinar estas características de una formación y específicamente el daño de formación tenemos las siguientes:

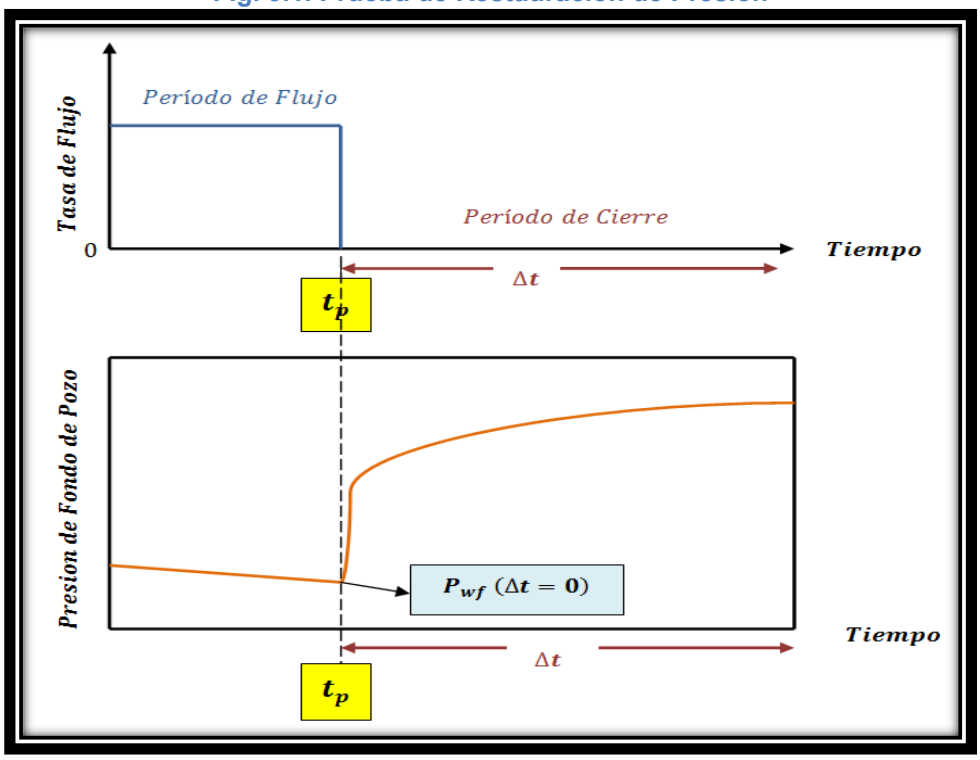
- Pruebas de Abatimiento de Presión (Drawdown Test)
- Pruebas de Restauración de Presión (Build-up Test)
- Método de las curvas tipo
    - ✓ Método de Ramey
    - ✓ Método de la Derivada de Bourdet

A continuación se presenta el procedimiento para determinar el daño de formación en cada una de las pruebas:

3.1. Prueba de Restauración de Presión (Build Up Test)

Una prueba de restauración de presión consiste en realizar una serie de mediciones de la presión de fondo del pozo, para diferentes tiempos (Δt) después de que se ha cerrado el pozo, con el fin de restaurar la presión a su valor original. Es decir al cerrar el pozo se mide la presión de fondo P_{wf} a $\Delta t = 0$ y se empieza a medir las siguientes presiones en función del tiempo de cierre $(\Delta t = 0)$ hasta que las presiones medidas comiencen a mostrar una tendencia a estabilizarse y finalmente a repetirse, lo que nos indicaría que hemos llegado a establecer la presión estática (P_{ws}) del yacimiento en estudio.

Fig. 3.1. Prueba de Restauración de Presión



Para llevar a cabo una prueba de este tipo es necesario que el pozo produzca a una tasa constante (q), (estabilizada) por un periodo anterior al cierre denominado tiempo de flujo ó de producción (t_p), con la finalidad de lograr una distribución homogénea de la presión antes del cierre.

El objetivo fundamental en la aplicación de un método de restauración de presión, es el cálculo de la presión estática (P_{ws}), de un yacimiento, además de la determinación de ciertas propiedades características de la formación que involucra dicho cálculo como:

- Permeabilidad
- Índice de productividad del pozo
- Existencia de daño ó estimulación de la formación
- Capacidad de flujo
- Eficiencia de flujo
- Máximo potencial del pozo

Una prueba de restauración de presión puede dar indicación de la presencia de daño cuando la presión se restaura lentamente durante el periodo de cierre, y se presenta una gran diferencia entre la presión de flujo inicial (Pwf) y la final (Pws) conocida como

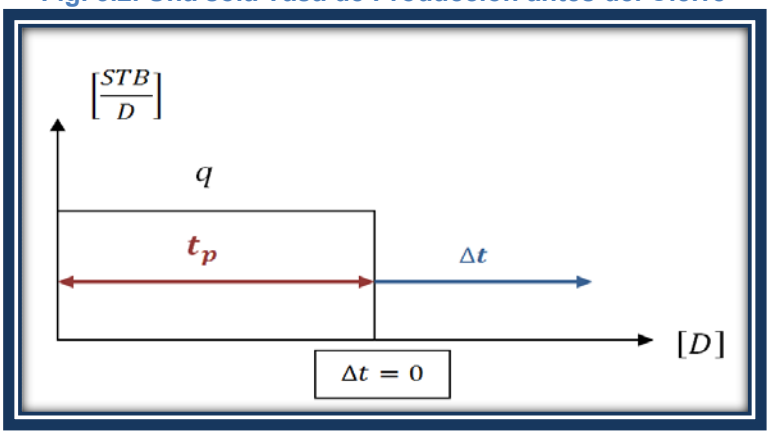
Drawdown. Esto indica que hay transmisión de presión, pero muy poca de fluido, lo cual puede ser debido a obstrucción de la permeabilidad en la vecindad del pozo.

Este tipo de prueba de presión corrida en los pozos de nuestro país, generalmente es de corto tiempo de duración, por lo tanto para el caso de yacimientos infinitos (drenaje limitado y efecto de interferencia entre pozos) reviste una consideración especial el cálculo de la presión estática del yacimiento.

3.1.1. Método de Condiciones Básicas

Este método considera el caso de tener al pozo produciendo exclusivamente a sólo una tasa constante (q) antes del cierre, tal y como se dijo anteriormente, condición necesaria para la aplicación del Build up test. Es decir gráficamente tenemos lo siguiente:

Fig. 3.2. Una sola Tasa de Producción antes del Cierre



El procedimiento para determinar el daño $\boldsymbol{S}$ a partir de los datos tomados de una prueba de restauración de presión utilizando el método Básico es el siguiente:

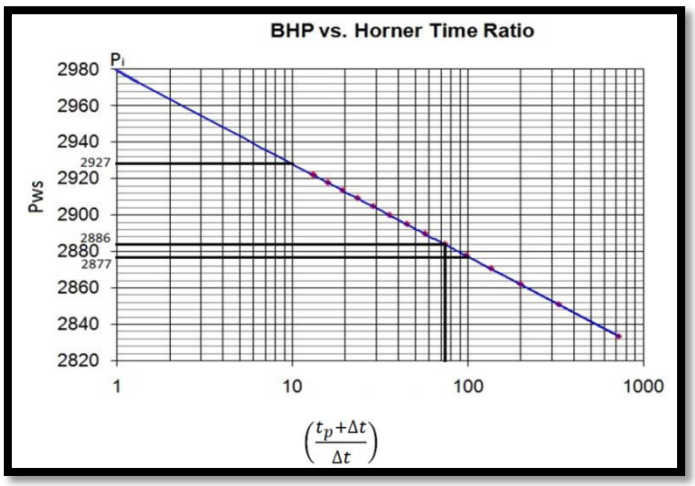
1. Graficamos P_{ws} vs. $\left(\frac{t_p+\Delta t}{\Delta t}\right)$ (En papel semilog):

Tabla 3.1. Data de una Prueba de Build-Up con una Tasa Constante antes del Cierre

Time (Hours)	Pressure (psi)	$\left(\frac{t_p+\Delta t}{\Delta t}\right)$	Time (Hours)	Pressure (psi)	$\left(\frac{t_p+\Delta t}{\Delta t}\right)$
0.1	2833.3	721	2.080	2899.9	35.615385
0.220	2850.9	328.27273	2.596	2904.7	28.734977
0.364	2862	198.8022	3.215	2909.2	23.395023
0.537	2870.6	135.07821	3.958	2913.5	19.191006
0.744	2877.7	97.774194	4.850	2917.7	15.845361
0.993	2884	73.507553	5.920	2921.8	13.162162
1.292	2889.7	56.727554	6.000	2922.1	13

2. Se determina la pendiente "m" de la gráfica:

Fig. 3.3. Gráfica de los Datos Obtenidos de la Prueba de Build-Up con una Tasa Constante antes del Cierre



$$\boldsymbol{m} = \left| \frac{\boldsymbol{P_{ws2} - P_{ws1}}}{\boldsymbol{log\left(\frac{t_p + \Delta t_2}{\Delta t_2}\right) - log\left(\frac{t_p + \Delta t_1}{\Delta t_1}\right)}} \right|$$ **Ecuación 3.1**

3. Se calcula el valor de la permeabilidad (k) :

$$\boldsymbol{k} = \frac{\boldsymbol{162{,}6 \times q \times \beta \times \mu}}{\boldsymbol{mh}}$$ **Ecuación 3.2**

4. Determinamos el daño de formación (s):

$$\boldsymbol{S = 1{,}151 \left[\frac{P_{1hr} - P_{wf}}{m} - log\left(\frac{k}{\phi \mu C_t r_w^2}\right) + 3{,}23 \right]}$$ **Ecuación 3.3**

Donde:

$S = Factor\ total\ de\ daño\ [adimensional]$

$P_{1hr} =$

$Presión\ al\ tiempo\ de\ cierre\ de\ 1\ hora\ obtenida\ del\ gráfico\ semilog.\ [psi]$

$P_{wf} = Presión\ de\ fondo\ fluyente\ [psi]$

$k = Permeabilidad\ calcualda\ de\ la\ prueba\ de\ restauración\ de\ presión\ [md]$

$\mu = Viscosidad\ del\ petróleo\ [cp]$

$\phi = porosdiad\ del\ yacimiento\ [fracción]$

$C_t = Compresibilidad\ total\ del\ sistema\ [psi^{-1}]$

$r_w = radio\ del\ pozo\ [pulg.]$

Nota:

$$P_{1hr} = P_{ws} \quad a \quad \Delta t = 1hr$$

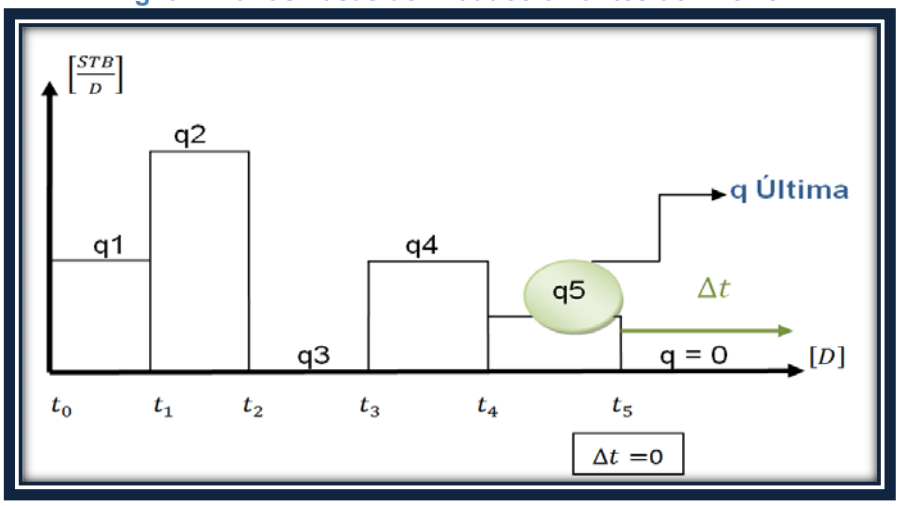
$$P_{wf} = P_{ws} \quad a \quad \Delta t = 0$$

$$P_i = P_{ws} \quad a \quad \left(\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}\right) = 1$$

3.1.2. Método de Aproximación de Horner

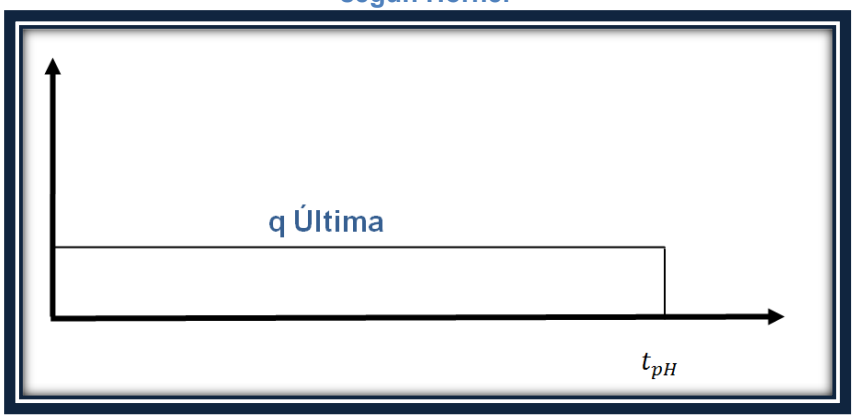
Como ya se dijo los métodos de restauración de presión necesitan que el pozo haya estado produciendo a una tasa constante por un periodo anterior al de cierre, en este método se tiene por objetivo poder aplicar el "Build-Up Test" aunque no se dé específicamente el hecho de que se haya estado produciendo a una sola tasa antes del cierre sino que se tiene el caso de varias tasas antes del cierre como se puede observar en la Fig. 3.4.

Fig. 3.4. Varias Tasas de Producción antes del Cierre



Lo que hace el método de Horner es tomar todas las tasas de producción que existen antes del cierre y representarlas en una sola, cuyo valor es exactamente el de la última tasa ($q_{última}$) y cuyo tiempo de producción alcanzará un tiempo t_{pH} expresado en horas, que es el tiempo de producción de Horner. Así como se aprecia en la Fig. 3.5.

Fig.3.5. Varias Tasas de Producción Representadas en una sola según Horner



El procedimiento para determinar el daño $\boldsymbol{S}$ a partir de los datos tomados de una prueba de restauración de presión utilizando el método de Horner es el siguiente:

1. Calculamos N_p :

$$\boldsymbol{N_p = q_1(t_1 - t_0) + q_2(t_2 - t_1) + q_3(t_3 - t_2 + q_3(t_3 - t_2) + \cdots + q_n(t_n - t_{n-1}) = ?\,[STB])}$$

Ecuación 3.4

2. Calculamos t_{pH} :

$$\boldsymbol{t_{pH}} = \frac{\boldsymbol{24N_p}}{\boldsymbol{q_{última}}} = ??\,[\boldsymbol{horas}] \qquad \textbf{Ecuación 3.5}$$

$[\boldsymbol{STB}]$

$\boxed{\left[\frac{\boldsymbol{STB}}{\boldsymbol{D}}\right]}$

3. Graficamos P_{ws} vs. $\left(\frac{t_{pH}+\Delta t}{\Delta t}\right)$ (En papel semilog)

4. Determinamos la pendiente "m" de la gráfica:

$$\boldsymbol{m} = \left|\frac{\boldsymbol{P_{ws2}-P_{ws1}}}{\boldsymbol{log\left(\frac{t_{pH}+\Delta t_2}{\Delta t_2}\right)-log\left(\frac{t_{pH}+\Delta t_1}{\Delta t_1}\right)}}\right| \qquad \textbf{Ecuación 3.6}$$

5. Determinamos el valor de la permeabilidad (k):

$$\boldsymbol{k} = \frac{\boldsymbol{162{,}6\times q_{última}\times\beta\times\mu}}{\boldsymbol{mh}} \qquad \textbf{Ecuación 3.7}$$

6. Determinamos el daño de la formación (S):

$$\boldsymbol{S = 1{,}151\left[\frac{P_{1hr}-P_{wf}}{m} - log\left(\frac{k}{\phi\mu C_t r_w^2}\right) + 3{,}23\right]} \qquad \textbf{Ecuación 3.8}$$

Donde:

$S = Factor\ total\ de\ daño\ [adimensional]$

$P_{1hr} = Presión\ de\ cierre\ de\ 1\ hora\ \ del\ gráfico\ semilog\ de\ Horner\ [psi]$

$P_{wf} = Presión\ de\ fondo\ fluyente\ [psi]$

$k = Permeabilidad\ calcualda\ del\ Build\ Up\ [md]$

$\mu = Viscosidad\ del\ petróleo\ [cp]$

$\phi = porosdiad\ del\ yacimiento\ [fracción]$

$C_t = Compresibilidad\ total\ del\ sistema\ [psi^{-1}]$

$r_w = radio\ del\ pozo\ [pulg.]$

Nota:

$$\mathrm{P_{1hr} = P_{ws}} \quad \mathrm{a} \quad \Delta\mathrm{t} = 1\mathrm{hr}$$

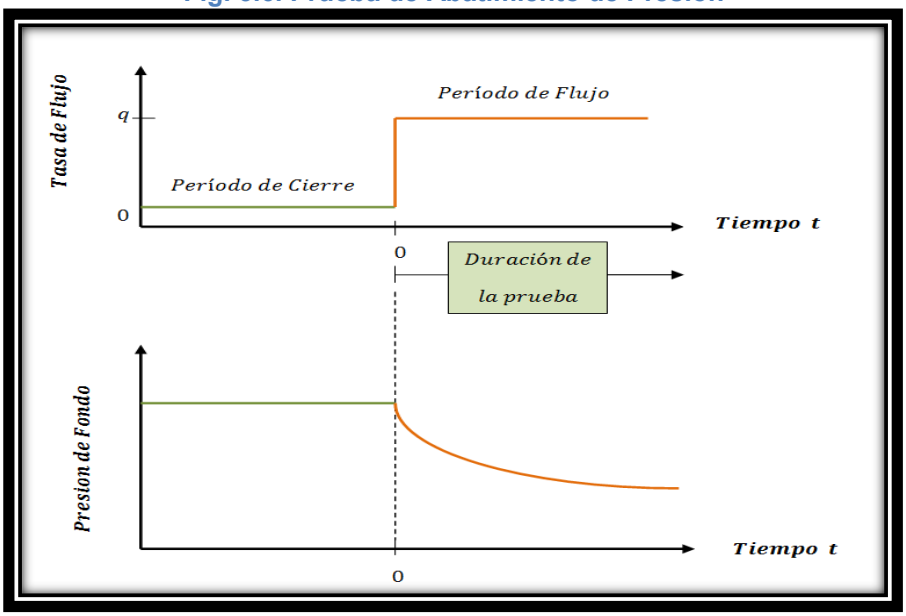
$$\mathrm{P_{wf} = P_{ws}} \quad \mathrm{a} \quad \Delta\mathrm{t} = 0$$

$$\mathrm{P_i = P_{wf}} \quad \mathrm{a} \quad \left(\frac{\mathrm{t_{pH}} + \Delta\mathrm{t}}{\Delta\mathrm{t}}\right) = 1$$

3.2. Pruebas de Abatimiento de Presión (Drawdown Test)

Esta prueba consiste en una serie de mediciones de presión en el fondo del pozo durante un periodo de tiempo, con el pozo fluyendo a una tasa constante estabilizada. Generalmente, se hace un cierre previo para lograr que la presión en el área de drenaje del pozo se estabilice y sea uniforme, es decir para que el yacimiento alcance la presión estática. La prueba de flujo (Drawdown) puede durar desde unas pocas horas hasta varios días si es necesario, dependiendo de los objetivos de la prueba.

Fig. 3.6. Prueba de Abatimiento de Presión



La tasa y la presión son registradas como funciones del tiempo. Los objetivos de la prueba de abatimiento usualmente incluyen la estimación de la permeabilidad, factor de daño (skin), y en algunas ocasiones el volumen del yacimiento. Estas pruebas son particularmente aplicables para:

- Pozos nuevos.
- Pozos que han sido cerrados el tiempo suficiente para permitir que la presión se estabilice.
- Pozos en los que la pérdida de ingresos incurridos en una prueba de restauración de presión sería difícil de aceptar.

Tenemos varios casos diferentes para hacer un análisis de la prueba del pozo y poder determinar datos propios del yacimiento como permeabilidad y factor de daño. Entre estos casos tenemos los siguientes:

- Prueba de flujo a una tasa constante de producción.
- Prueba de flujo con una tasa de producción con cambio ligeramente variable.
- Prueba de flujo con un caudal notablemente variable (Multitasas)

A continuación se detalla el procedimiento de cálculo del factor de daño para los casos mencionados anteriormente.

3.2.1. Caso 1: Cuando se tiene una Tasa (q) Constante

Procedimiento:

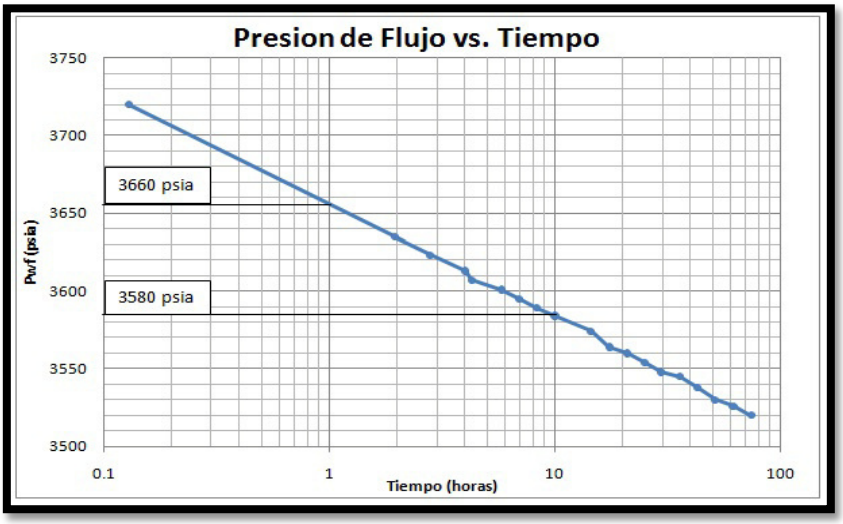
1. Graficamos P_{ws} vs. t (En papel semilog) :

Tabla 3.2. Data de una Prueba de Drawdown a una Tasa Constante

Datos de una Prueba de Presión Drawdown			
T (horas)	Pwf (psia)	T (horas)	Pwf (psia)
0.00	4413	14.5	3574
0.13	3720	17.5	3564
1.95	3635	21.0	3560
2.80	3623	25.0	3554
4.02	3613	29.7	3548
4.29	3607	35.9	3545
5.79	3601	42.8	3538
6.95	3595	51.5	3530
8.33	3589	61.7	3526
10.0	3584	74.4	3520

2. Determinamos la pendiente "m" de la gráfica:

Fig.3.7. Gráfica de los Datos Obtenidos de la Prueba de Drawdown a una Tasa Constante



$$m = \left|\frac{P_{wf2} - P_{wf1}}{log(t_2) - log(t_1)}\right|$$ **Ecuación 3.9**

3. Determinamos el valor de la permeabilidad (k):

$$k = \frac{162{,}6 \times q \times \beta \times \mu}{mh}$$ **Ecuación 3.10**

4. Determinamos el daño de formación (S):

$$S = 1{,}151\left[\frac{P_i - P_{1hr}}{m} - log\left(\frac{k}{\phi \mu C_t r_w^2}\right) + 3{,}23\right]$$ **Ecuación 3.11**

Nota: $P_{1hr} = P_{wf}$ a $t = 1hr$ leído en la gráfica sobre la línea recta ó su extrapolación.

3.2.2. Caso 2: Cuando se tiene que la tasa es ligeramente variable

Procedimiento:

1. Graficamos $\frac{P_i - P_{wf}}{q}$ vs. t (En papel semilog):

Tabla 3.3. Data de una Prueba de Drawdown a Tasa ligeramente Variable

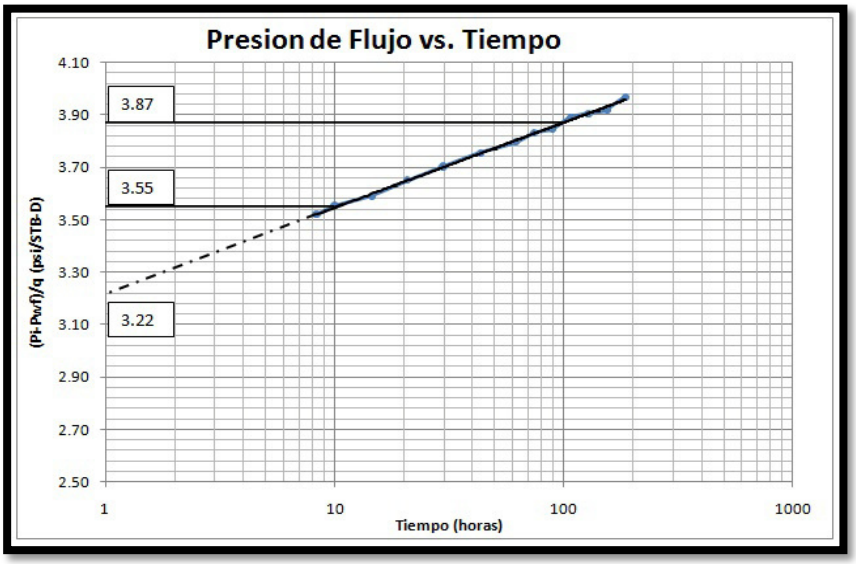
Datos de una Prueba de Presión Drawdown					
T (horas)	Pwf (psia)	q (STB/D)	T (horas)	Pwf (psia)	q (STB/D)
8.33	3929	148	**74.5**	3948	131
10	3931	146	**89.2**	3950	130
14.5	3933	144	**106.8**	3952	128
20.8	3935	141	**128.3**	3954	127
29.7	3939	138	**154.3**	3956	126
43.2	3943	135	**185.6**	3958	124
61.8	3945	133			

Tabla 3.4. Preparación de la Data de una Prueba de Drawdown a Tasa ligeramente Variable

T (horas)	(Pi-Pwf)/q (psi/STB-D)	T (horas)	(Pi-Pwf)/q (psi/STB-D)
8.33	3.52	74.5	3.83
10	3.55	89.2	3.85
14.5	3.59	106.8	3.89
20.8	3.65	128.3	3.91
29.7	3.70	154.3	3.92
43.2	3.76	185.6	3.97
61.8	3.80		

2. Determinamos la pendiente "m" de la gráfica:

Fig. 3.8. Gráfica de los Datos Obtenidos de la Prueba de Drawdown a Tasa ligeramente Variable



$$m = \left| \frac{\left(\frac{P_i - P_{wf}}{q}\right)_2 - \left(\frac{P_i - P_{wf}}{q}\right)_1}{log(t_2) - log(t_1)} \right|$$ **Ecuación 3.12**

3. Determinamos el valor de la permeabilidad (k):

$$\boldsymbol{k = \frac{162{,}6 \times \beta \times \mu}{mh}}$$ **Ecuación 3.13**

4. Determinamos el daño de formación (S):

$$\boldsymbol{S = 1{,}151\left[\frac{\left[\frac{P_{1hr}-P_{wf}}{q}\right]_{1hr}}{m} - log\left(\frac{k}{\phi\mu C_t r_w^2}\right) + 3{,}23\right]}$$

Ecuación 3.14

Nota: $\left[\frac{P_{1hr}-P_{wf}}{q}\right]_{1hr} = \left[\frac{P_i-P_{wf}}{q}\right]$ a $t = 1hr$ leído en la gráfica sobre la línea recta ó su extrapolación.

3.2.3. Caso 3: Cuando se tiene *n* Tasas que varían Discretamente.

Procedimiento:

1. Graficamos $\frac{P_i-P_{wf}}{q}$ vs. $\sum_{j=1}^{n}\frac{(q_j-q_{j-1})}{q_n}\log(t_n - t_{j-1})$ (En papel semilog):

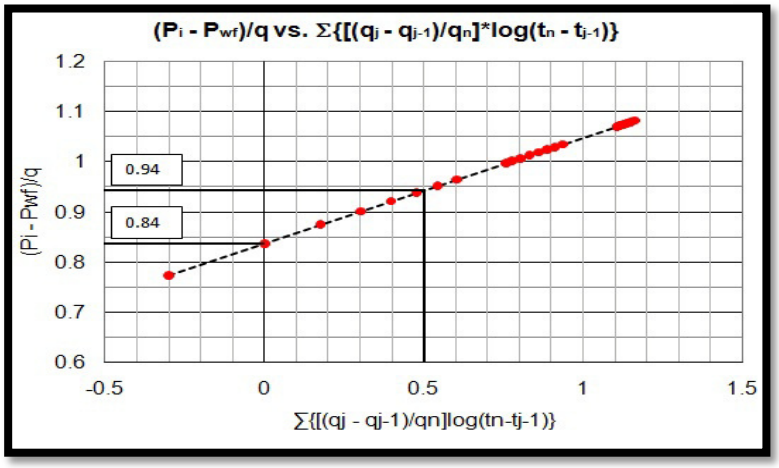
Tabla 3.5. Data de una Prueba de Drawdown a n Tasas que varían Discretamente

T (horas)	Pwf (psia)	Q_n (STB/D)	$\frac{P_i - P_{wf}}{q_n}$	X
0.5	1810.32	250	**0.77392**	**-0.301**
1.0	1794.41	250	**0.83756**	**0**
1.5	1785.12	250	**0.87472**	**0.176**
2.0	1778.54	250	**0.90104**	**0.301**
2.5	1773.44	250	**0.92144**	**0.398**
3.0	1769.27	250	**0.93812**	**0.477**
3.5	1765.75	250	**0.9522**	**0.544**
4.0	1762.70	250	**0.9644**	**0.602**
4.5	1779.35	225	**0.9975**	**0.759**
5.0	1778.54	225	**1.0011**	**0.777**
5.5	1777.29	225	**1.0067**	**0.803**
6.0	1775.96	225	**1.0126**	**0.831**
6.5	1774.64	225	**1.0184**	**0.859**
7.0	1773.37	225	**1.0241**	**0.886**
7.5	1772.15	225	**1.0295**	**0.911**
8.0	1770.98	225	**1.0347**	**0.936**
8.5	1789.21	200	**1.0729**	**1.118**
9.0	1789.74	200	**1.0703**	**1.105**
9.5	1789.65	200	**1.0707**	**1.107**
10.0	1789.34	200	**1.0723**	**1.115**
10.5	1788.91	200	**1.0744**	**1.125**
11.0	1788.44	200	**1.0768**	**1.136**
11.5	1787.93	200	**1.0793**	**1.148**
12.0	1787.41	200	**1.0819**	**1.160**

Nota: $\sum_{j=1}^{n} \frac{(q_j - q_{j-1})}{q_n} \log(t_n - t_{j-1}) = X$

2. Hallamos la pendiente "m" de la gráfica:

Fig. 3.9. Gráfica de los Datos obtenidos de la Prueba de Drawdown a n Tasas que varían Discretamente



$$m = \left| \frac{\left(\frac{P_i - P_{wf}}{q_n}\right)_2 - \left(\frac{P_i - P_{wf}}{q_n}\right)_1}{X_2 - X_1} \right|$$ **Ecuación 3.15**

3. Hallamos el valor de la permeabilidad (k):

$$\boldsymbol{k = \frac{162{,}6 \times \beta \times \mu}{mh}}$$ **Ecuación 3.16**

4. Hallamos el efecto de piel (S):

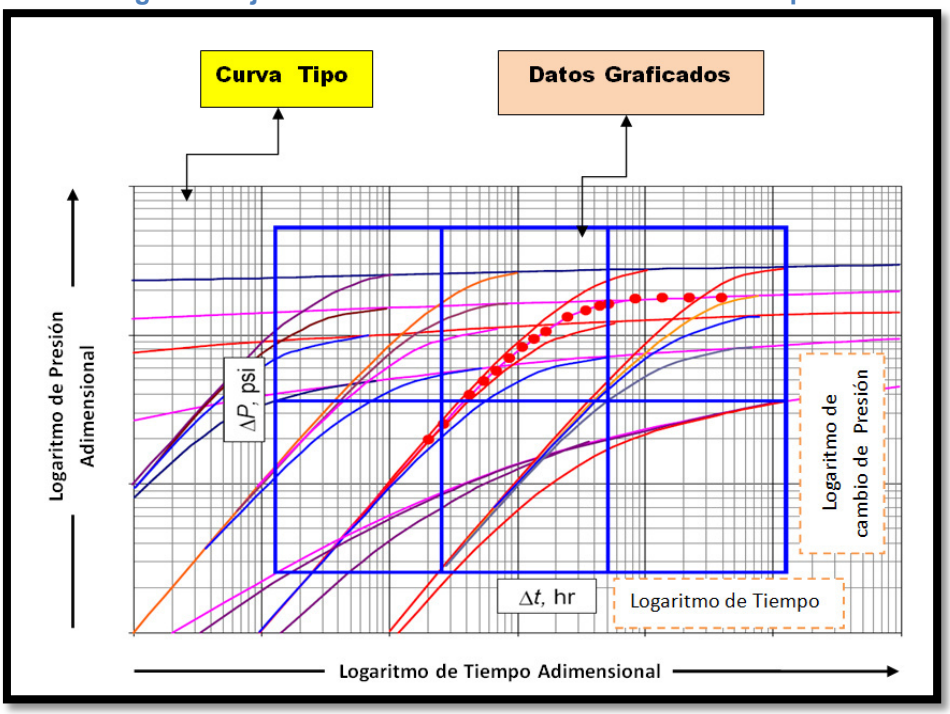
$$\boldsymbol{S = 1{,}151\left[\frac{b}{m} - log\left(\frac{k}{\phi \mu C_t r_w^2}\right) + 3{,}23\right]}$$ **Ecuación 3.17**

Nota: $b = \left[\frac{P_i - P_{wf}}{q_n}\right]$ cuando $X = 0$ leído en la gráfica sobre la línea recta ó su extrapolación.

3.3. Método de las Curvas Tipo

Las llamadas curvas tipo, son curvas prediseñadas mediante soluciones teóricas para ecuaciones de flujo. Este tipo de análisis busca encontrar una curva tipo que “empate” o se “aproxime” a la respuesta real del pozo y el yacimiento. Los parámetros del pozo y yacimiento, tales como permeabilidad y daño, pueden entonces calcularse de los parámetros adimensionales definidos por la curva tipo.

Fig. 3.10. Ajuste de los Datos de Presión a la Curva Tipo



El empate puede encontrarse gráficamente como se muestra en la Figura 3.10, superponiendo los datos reales de la prueba en una curva tipo apropiada que garantice un mejor ajuste. Para ello es necesario graficar sobre un papel transparente los datos de la prueba, de manera que sobre éste último se tenga las mismas escalas de la curva tipo.

Este gráfico que contiene los datos reales, se superpone al gráfico de la curva tipo y manteniendo los ejes paralelos se busca el mejor empate. A partir de los parámetros adimensionales definidos por el

empate con la curva tipo y del desplazamiento de los ejes X e Y, se calcula los parámetros del yacimiento.

Además del daño de formación las curvas tipo pueden ayudar a estimar las propiedades del reservorio, identificar el modelo apropiado del reservorio e identificar varios patrones de flujo durante la prueba.

De las principales curvas tipos que existen vamos a revisar únicamente dos que son las curvas tipo de Ramey (Drawdown Test) y la de la Derivada de Bourdet (Build–Up Test).

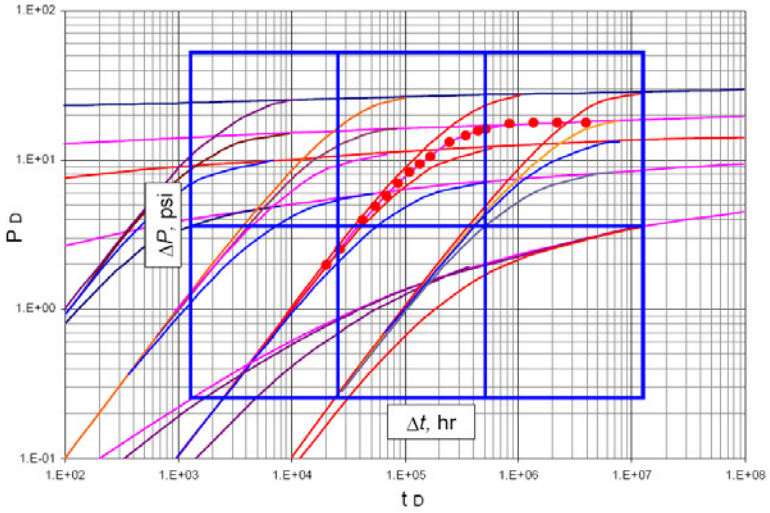
3.3.1. Método de Ajuste por Curvas Tipo de Ramey

El siguiente es el procedimiento manual para determinar el daño a partir de una prueba de Drawdown usando la curva tipo de “Ramey”:

1. Graficamos los datos obtenidos de la prueba, $\Delta P \text{ vs. } t$ en papel logarítmico usando la misma escala de la curva tipo de Ramey.
2. Colocamos el gráfico sobre la curva tipo de Ramey de modo que los ejes sean paralelos.

3. Obtenemos el mejor ajuste con una de las curvas de la curva tipo.

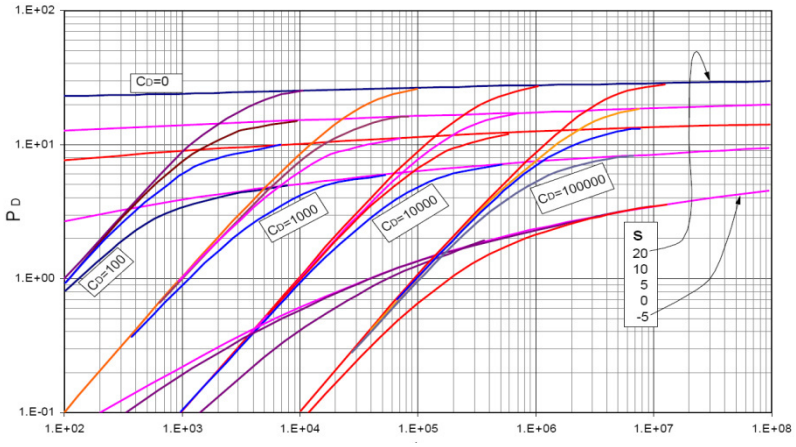
Fig. 3.11. Ajuste de Datos con la Curva Tipo de Ramey



4. Escoja un punto de ajuste conveniente y lea las coordenadas correspondientes:

$$(\Delta P_M; t_M)\ ;\ (P_{DM}; t_{DM})\ y\ C_{DM}.$$

Fig. 3.12. Curva Tipo de Ramey de donde determinamos por lectura el valor de C_{DM} y S.



5. Determinamos el valor de k:

$$\boldsymbol{k = 141.2\frac{q\mu\beta}{h}\left(\frac{P_{DM}}{\Delta P_M}\right)}$$ **Ecuación 3.18**

6. Determinamos el valor de la $\emptyset$:

$$\emptyset = \frac{\mathbf{0.0002637}\boldsymbol{k}}{\boldsymbol{\mu C_t r_w^2}}\left(\frac{t_M}{t_{DM}}\right)$$ **Ecuación 3.19**

7. Finalmente podemos determinar el almacenamiento con la expresión:

$$\boldsymbol{C = \frac{\emptyset C_t h r_w^2}{0.8936} C_{DM}}$$ **Ecuación 3.20**

3.3.2. Método de Ajuste por Curva Tipo de "Derivada de Bourdet"

El siguiente es el procedimiento manual para determinar el daño a partir de una prueba de Build-Up usando la curva tipo "Derivada de Bourdet":

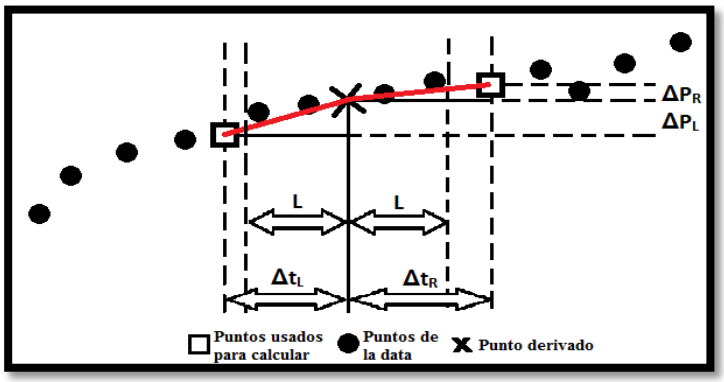
1. Con los datos de la prueba (tabla que tiene registrado valores de Δt y su correspondiente P_{ws}) calculamos los

valores de $\Delta t_e \Delta P'$ para cada valor que contenga la tabla. Los valores del tiempo equivalente Δt_e en la nueva tabla se los genera mediante el uso de la ecuación de Agarwal.

$$\Delta t_e = \left[\frac{\Delta t}{1+\left(\frac{\Delta t}{t_p}\right)}\right] \qquad \textbf{Ecuación 3.21}$$

La derivada de la presión $(\Delta P')$ en un punto es determinada encontrando una media ponderada de las pendientes que van antes y después de dicho punto, como los muestra la figura A.

Fig. 3.13. Procedimiento para hallar $(\Delta P')$



La distancia L es definida por experiencia como un valor fijo entre 0.1 y 0.3. Los valores de las ventanas antes y después del punto seleccionado se los calcula restando y sumando L, respectivamente $(\ln(\Delta t_e) \pm 0.3)$.

A continuación se muestran las ecuaciones necesarias para hallar el valor de la derivada de la presión:

$$(\boldsymbol{mp} = \Delta \boldsymbol{t_e} \Delta \boldsymbol{P}')$$ **Ecuación 3.22**

$$\boldsymbol{m_L} = \frac{\Delta \boldsymbol{p_L}}{\Delta \boldsymbol{t_L}}$$ **Ecuación 3.23**

$$\boldsymbol{m_R} = \frac{\Delta \boldsymbol{p_R}}{\Delta \boldsymbol{t_R}}$$ **Ecuación 3.24**

$$\boldsymbol{m_p} = \frac{\boldsymbol{m_L} \Delta \boldsymbol{t_R} + \boldsymbol{m_R} \Delta \boldsymbol{t_L}}{\Delta \boldsymbol{t_L} + \Delta \boldsymbol{t_R}} = \Delta \boldsymbol{t_e} \Delta \boldsymbol{P}'$$ **Ecuación 3.25**

Hay que tener en cuenta que los valores de Δp_L, Δp_R, Δt_L, Δt_R se los encuentra mediante la diferencia (Valor mayor menos valor menor) de los tiempos y presiones del punto a derivar y de los puntos más inmediatos a las ventanas encontradas previamente.

Ejemplo de Cálculo:

Se tiene un extracto de la prueba de restauración de presión en las dos primeras columnas de la tabla AA. Se encuentran los valores de Δt_e, ΔP y $\ln(\Delta t_e)$.

Tabla 3.6. Cálculo de la Presión Derivada

ΔT (horas)	Pws (psi)	Δt_e (horas)	Δp (psi)	$\ln(\Delta t_e)$	Ventana	m_p $\Delta t_e \Delta p'$
0	250	-	-	-	-	-
0.0100	607.11	0.0100	357.11	-4.6052		317.26
0.0160	780.68	0.0160	530.68	-4.1352		425.64
0.0255	1005.1	0.0255	755.10	-3.6691		518.27
					-3.5039	
0.0406	**1263.2**	**0.0406**	**1013.2**	**-3.2039**		**546.53**
					-2.9039	
0.0649	1515.6	0.0649	1265.6	-2.7349		479.59
0.1040	1714.0	0.1040	1464.0	-2.2634		342.82

$-3.2039 - 0.3 = -3.5039$ Ventana Inferior

$-3.2039 + 0.3 = -2.9039$ Ventana Superior

$$\Delta t_L = -3.2039 + 3.6691 = 0.4652$$

$$\Delta t_R = -2.7349 + 3.2039 = 0.469$$

$$\Delta p_L = 1013.2 - 755.1 = 258.1$$

$$\Delta p_R = 1265.6 - 1013.2 = 252.4$$

$$m_L = \frac{\Delta p_L}{\Delta t_L} = \frac{258.1}{0.4652} = 554.815$$

$$m_R = \frac{\Delta p_R}{\Delta t_R} = \frac{252.4}{0.469} = 538.166$$

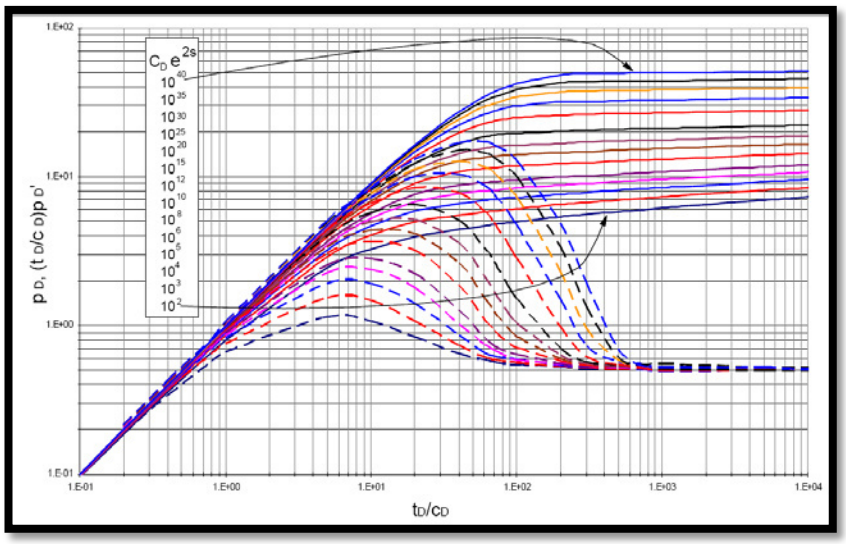
$$m_p = \frac{554.815(0.469) + 538.166(0.4652)}{0.4652 + 0.469} = 546.53 = \Delta t_e \Delta P'$$

2. Graficar $\Delta t_e \Delta P'$ y ΔP en función de Δt_e en una grafica log-log con el mismo tamaño de los ciclos de la grafica de curva tipo de Bourdet.

3. Forzamos una coincidencia de curvas entre la gráfica obtenida de los datos de la prueba y la curva tipo, y tomamos un punto de ajuste cualquiera donde procedemos a leer los valores de $\Delta P_M, (\Delta t_e \Delta P')_M, P_{DM}, \left(\frac{t_D}{C_D}\right) P_{DM}', \Delta t_{e_M}, \left(\frac{t_D}{C_D}\right)_M$

4. Determinar el valor de $C_D e^{2S}$, con la simple observación de la curva tipo que haya coincidido con nuestra gráfica.

Fig. 3.14. Curva Tipo Derivada de Bourdet



5. Determinamos el valor de la permeabilidad (k):

$$\boldsymbol{k = \frac{141.2q\beta\mu}{h}\left(\frac{P_D}{\Delta P}\right)_M}$$ **Ecuación 3.26**

6. Determinamos el coeficiente de almacenamiento del pozo (C_D):

$$\boldsymbol{C_D = \frac{0.0002637k}{\emptyset h c_t r_w^2}\left(\frac{\Delta t_e}{t_D/C_D}\right)_M}$$ **Ecuación 3.27**

7. Determinamos el factor de daño (S):

$$\boldsymbol{s = 0.5\, ln\left(\frac{C_D e^{2s}}{C_D}\right)}$$ **Ecuación 3.28**

CAPÍTULO 4

4. FRACTURA

4.1. Definición

La Fractura es una estructura de muy alta conductividad superpuesta en el yacimiento, de tal manera que exista un gran contraste entre la permeabilidad del yacimiento y el de la fractura.

4.2. Modelos de Fractura

Los modelos a continuación descritos sirven para predecir el comportamiento de la fractura. Se dispone de tres familias generales de modelos:

1. Modelos Bidimensionales 2-D.
2. Modelos Pseudo - Tridimensionales P3D.

3. Modelos Tridimensionales 3-D.

Los modelos 2-D han sido utilizados para contribuir en el diseño de tratamientos de estimulación por fracturamiento desde hace muchos años.

Los modelos en 2-D más utilizados son aquellos de Khristianovic y Zeltov, con posteriores contribuciones de Geertsma y de Klerk (1969; modelo KGD) y Perkins y Kern (1961); y, más tarde, el de Nordgren (1972; modelo PKN). Estos modelos resultan satisfactorios para varias aplicaciones, pero no siempre pronostican en forma adecuada la respuesta de presión de superficie observada durante el tratamiento de fracturamiento. Cuando esto ocurre, es común deducir que la geometría de la fractura no se ajusta a la planificada.

Los modelos en 2-D difieren considerablemente en la forma de cálculo del crecimiento y volumen de la fractura. En el modelo KGD, la geometría de la fractura tiene una altura uniforme y constante, y una sección transversal rectangular.

Este modelo es utilizado cuando la relación entre la longitud y la altura de la fractura es generalmente menor que 1.5.

El modelo KGD es común que describa longitudes de fracturas más cortas, y mayores anchos sobre la pared del hueco que el modelo PKN. Estos modelos y otros similares en 2-D, no requieren una definición muy precisa de las propiedades mecánicas de la formación.

El uso de los modelos tridimensionales 3-D o Pseudo Tridimensionales P3D ya es común en la industria. A estos modelos se los considera generalmente más exactos, dado que simulan en forma más precisa el crecimiento de las fracturas.

Estos modelos requieren, como datos de entrada, valores precisos de las propiedades mecánicas de la roca (relación de Poisson $[\nu]$, y el Módulo de Elasticidad de Young $[E]$).

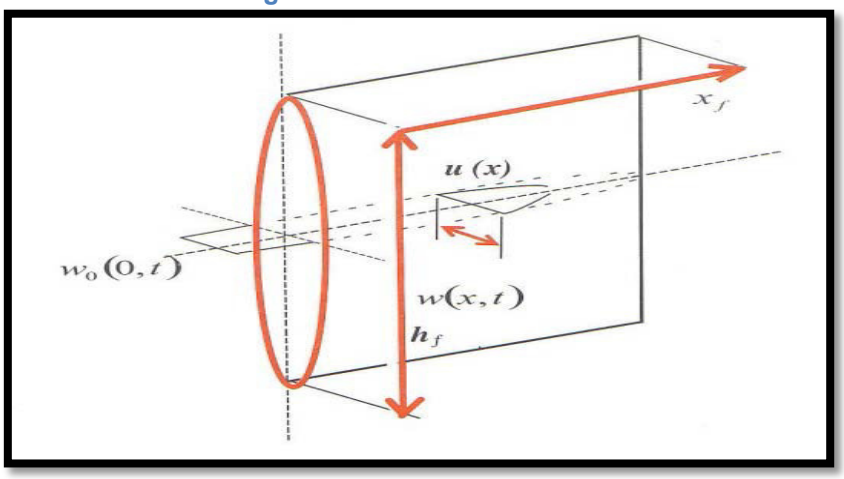
La diferencia de la relación de Poisson entre las diferentes zonas influye en el crecimiento de la altura.

El valor del módulo de elasticidad de Young influye en el desarrollo del ancho de la fractura.

4.2.1. Modelo PKN

El modelo PKN tiene forma elíptica en el orificio del pozo (Figura 4.1). El ancho máximo está en la línea central de esta elipse, con cero ancho en la parte superior y en el fondo.

Fig. 4.1. Modelo Geométrico PKN



4.2.1.1. Características del Modelo

Este modelo tiene las siguientes características:

1. Altura fija y flujo en una dirección.
2. Sin esfuerzo en el plano vertical.
3. Ancho varía con la altura.
4. Fracturas largas.
5. Presión Neta aumenta con el tiempo.
6. El modelo sería apropiado cuando $h_f \ll X_f$.
7. Fractura con forma elíptica tanto en el plano horizontal como vertical.

4.2.1.2. Ancho de Fractura

Para fluido Newtoniano el ancho máximo cuando la longitud de fractura medida es igual a X_f, está dada por:

$$\boldsymbol{W_{máx} = 2,31\left[\frac{q_i \mu (1-v) X_f}{G}\right]^{1/4}} \qquad \textbf{Ecuacion 4.1}$$

Donde:

$W_{máx} = Ancho\ máximo\ de\ fractura\ [pulg]$

$X_f = Longitud\ de\ la\ fractura\ [pulg]$

$\mu = Viscosidad\ aparente\ [cp]$

$v = \ Relación\ de\ Poisson\ [psi]$

$q_i = Caudal\ de\ inyección\ [BPM]$

$G = Módulo\ elástico\ de\ corte\ [psi]$; *está relacionado con el módulo de Young, E, por:*

$$\boldsymbol{G = \frac{E}{2(1+v)}} \qquad \textbf{Ecuacion 4.2}$$

La ecuación (4.1) es particularmente útil para entender la relación entre el ancho de la fractura, tratamiento, variables y propiedades de la roca.

Las propiedades de la roca tienen un impacto mayor sobre el ancho de la fractura.

El módulo de Young de las rocas reservorio común puede variar casi dos órdenes de magnitud, de 10^7 $[psi]$ en arenisca hasta 2×10^5 $[psi]$ en dolomitas y carbonatos.

La diferencia de ancho de fractura entre estos dos extremos es 2,5 veces. En rocas rígidas, donde el módulo de Young es grande, para un volumen dado de fluido inyectado, la fractura resultante será angosta pero larga.

Por el contrario en las formaciones de bajo módulo de Young, el mismo volumen de fluido inyectado resultaría en fracturas anchas pero cortas.

La geometría elíptica del modelo PKN conducen a una expresión para el ancho promedio mediante la introducción de un factor geométrico:

$$\overline{W} = 2,31 \left[\frac{q_i \mu (1-v) X_f}{G}\right]^{1/4} \left[\frac{\pi}{4}\gamma\right] \qquad \textbf{Ecuacion 4.3}$$

Donde:

$\overline{W} = Ancho\ promedio\ de\ fractura\ [pulg].$

$\gamma = Constante\ igual\ a\ 0{,}75.$

$X_f = Longitud\ de\ la\ fractura\ [pulg].$

$\mu = Viscosidad\ del\ fluido\ fracturante\ [cp]$

$v = Relación\ de\ Poisson\ [psi]$

$q_i = Caudal\ de\ inyección\ [BPM]$

$G = Módulo\ elástico\ de\ corte\ [psi]$

El factor γ es aproximadamente igual a 0,75 y por lo tanto el término del segundo conjunto del paréntesis es igual a 0,59. En unidades de campo, donde:

$\overline{W}$ =[pulg]; q_i =[BPM]; μ =[cp]; X_f =[ft] y G =[psi],

La ecuación 4.3 se convierte en:

$$\overline{\boldsymbol{W}} = \mathbf{0,3}\left[\frac{q_i\mu(1-v)X_f}{G}\right]^{1/4}\left[\frac{\pi}{4}\gamma\right] \qquad \textbf{Ecuacion 4.4}$$

Máximo ancho de Fractura con Fluido No-Newtoniano

La expresión del máximo ancho de fractura con fluido no Newtoniano, se expresa de la siguiente manera en unidades de campo:

$$w_{max} \equiv 12\left[\left(\frac{128}{3\pi}\right).(n'+1).\left(\frac{2n'+1}{n'}\right)^{n'}.\left(\frac{0.9775}{144}\right).\left(\frac{5.61}{60}\right)^{n'}\right]^{1/(2n'+2)}\left(\frac{q_i{}^{n'}\,k'\,x_f\,h_f{}^{1-n}}{E}\right)^{1/(2n'+2)}$$

Ecuacion 4.5

Donde:

$W_{máx} = Ancho\ máximo\ de\ fractura\ [pulg].$

$X_f = Longitud\ de\ la\ fractura\ [ft].$

$\mu = Viscosidad\ del\ fluido\ de\ fractura\ [cp]$

$v = Relación\ de\ Poisson\ [psi]$

$q_i = Caudal\ de\ inyección\ [BPM]$

$G = Módulo\ elástico\ de\ corte\ [psi]$

$h_f = Altura\ de\ fractura\ [ft]$

$n' =$ *Índice de comportamiento del fluido de fractura (adimensional)*

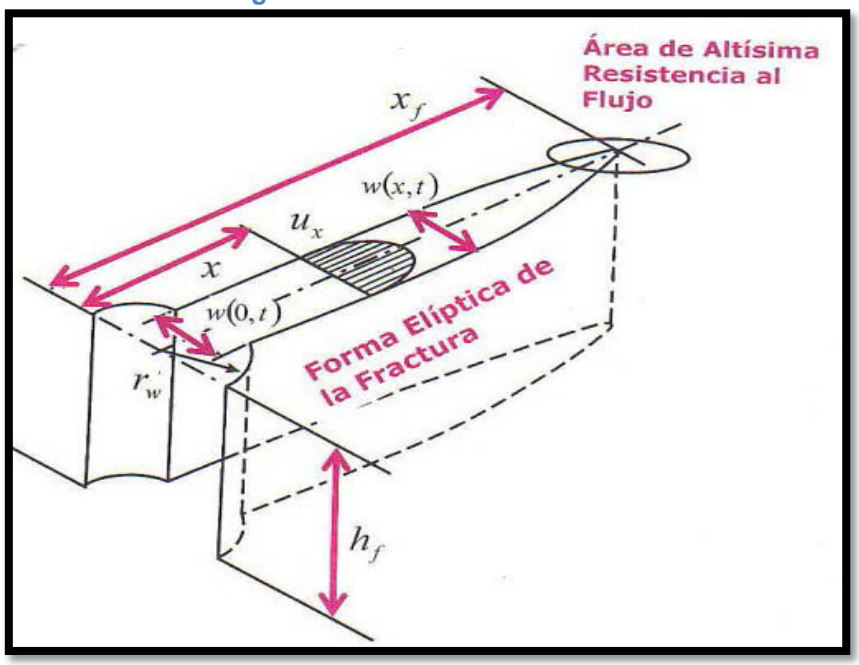
$k' = Índice\ de\ consistencia\ de\ fluido\ de\ fractura\ [lb * seg^{n'}/ft^2]$

El ancho promedio de la fractura puede ser calculado multiplicando por el factor geométrico $\left(\frac{\pi}{4}\gamma\right)$.

4.2.2. Modelo KGD

El modelo KGD representado en la figura 4.2 es un modelo semejante al PKN con un giro de 90° y es aplicable para aproximar la geometría de fracturas en donde $h_f \gg X_f$, es decir, cuando las longitudes de fracturas son menores que la altura de la fractura.

Fig.4.2. Modelo Geométrico KGD



4.2.2.1. Características del Modelo

Este modelo tiene las siguientes características:

1. Ancho no varía con la altura.
2. Altura fija y flujo en una dirección.
3. Sin esfuerzo en el plano horizontal.

4. Presión Neta decrece con el tiempo.
5. El modelo sería apropiado cuando $h_f \gg X_f$.
6. Fractura con forma elíptica en el plano horizontal y rectangular en el plano vertical.

4.2.2.2. Ancho de Fractura

El ancho promedio de la fractura del modelo KGD en unidades de campo, con $\overline{W}$ en pulgadas es:

$$\overline{W} = 2,53\left[\frac{q_i\mu(1-v){X_f}^2}{Gh_f}\right]^{1/4} \qquad \textbf{Ecuacion 4.6}$$

Donde:

$\overline{W} = Ancho\ promedio\ de\ fractura\ [pulg]$.

$X_f = Longitud\ de\ la\ fractura\ [ft]$.

$h_f = Altura\ de\ la\ fractura\ [ft]$.

$\mu = Viscosidad\ del\ fluido\ fracturante\ [cp]$

$v = Relación\ de\ Poisson\ [psi]$

$q_i = Caudal\ de\ inyección\ [BPM]$

$G = Módulo\ elástico\ de\ corte\ [psi]$

Para la utilización del modelo KGD con fluido No-Newtoniano se utilizará la viscosidad equivalente con la aplicación de la Ley de potencias; entonces la

correspondiente ecuación de ancho de fractura con el modelo KGD es:

$$\boldsymbol{W_W = (11,1)^{1/(2n+2)} * (2,24)^{n/(2n+2)} * K^{1/(2n+2)} * \left[\frac{1+2n}{n}\right]^{n/(2n+2)} \left(\frac{(q_i)^n * (X_f)^2}{E' * (h_f)^n}\right)^{1/(2n+2)}}$$

Ecuacion 4.7

Donde:

$W_w = Ancho\ promedio\ de\ fractura\ [pulg].$

$X_f = Longitud\ de\ la\ fractura\ [ft].$

$q_i = Caudal\ de\ inyección\ [BPM]$

$h_f = Altura\ de\ fractura\ [ft]$

$n = Índice\ de\ comportamiento\ del\ fluido\ de\ fractura\ (adimensional)$

$K = Índice\ de\ consistencia\ de\ fluido\ de\ fractura\ [lb * seg^n/ft^2]$

$E' = Módulo\ de\ esfuerzo\ plano.$

4.3. Gradiente de Fractura

Es el gradiente de presión bajo el cual una formación se rompe y admite fluido del pozo, el cual está determinado a partir de la ecuación de Hubbert & Willis:

$$\boldsymbol{FG = K(OBG - PPG) + PPG}$$

Ecuación 4.8

Donde:

$FG = Gradiente\ de\ fractura\ [psi/ft]$.

$K = Relación\ de\ Esfuerzos\ Efectivos$.

$OBG = Gradiente\ de\ sobrecarga\ [psi/ft]$.

$PPG = Gradiente\ de\ presión\ de\ poro\ [psi/ft]$.

4.4. Presión de Fractura de Fondo (BHFP)

Es la presión a la cual se logra romper o fracturar la formación, a esta BHFP (Bottom Hole Fracture Pressure) la podemos determinar con la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{BHFP = FG \times Profundidad\ (TVD)}$$ **Ecuación 4.9**

Donde:

$BHFP = Presión\ de\ fractura\ de\ fondo\ [psi]$.

$FG = Gradiente\ de\ fractura\ [psi/ft]$.

$Profundidad\ (TVD) =$ *Profundidad vertical verdadera [ft].*

4.5. Presión neta de fractura:

Constituye la diferencia de presión entre cualquier punto en la fractura y la presión a la cual la fractura se cierra.

$$\boldsymbol{P_{net} = P_f - P_c = P_f - \sigma_c = P_f - \sigma_{min}}$$ **Ecuación 4.10**

Donde:

$P_{net} = Presión\ neta\ de\ fractura\ [psi].$

$P_f = Presión\ de\ fluido\ fracturante\ en\ cualquier\ punto\ de\ la\ fractura\ [psi].$

$P_c = Presion\ de\ cierre\ de\ fractura\ [psi]$

$\sigma_c = Esfuerzo\ de\ cierre\ de\ la\ fractura\ [psi].$

$\sigma_{min} = Esfuerzo\ mínimo\ de\ los\ tres\ esfuerzos\ ortogonales\ [psi].$

En términos generales el ancho máximo de la fractura puede ser expresado como:

$$\boldsymbol{W_{máx} = \frac{2 * P_{net} * d}{E'} = \frac{2(P_f - \sigma_{min})d}{E'}}$$ **Ecuación 4.11**

Donde, d es la dimensión característica dependiendo del plano de formación utilizado y E' es el módulo de esfuerzo plano. Para el modelo PKN la dimensión característica d, es la altura de fractura (h_f) , mientras para el modelo KGD es igual a la longitud de la fractura, de punta a punta. El valor de γ_c es 0,75 para el modelo PKN y 1 para el modelo KGD.

El ancho promedio de la fractura está expresado por:

$$\bar{w} = \frac{\pi}{4}\gamma_C \cdot w_{max}$$ **Ecuación 4.12**

Nolte & Economides han demostrado que para una operación de fracturamiento con una eficiencia del fluido fracturante tendiente a la unidad, se tiene:

$$\eta = \frac{V_f}{V_i} \rightarrow 1$$ **Ecuación 4.13**

Donde:

$\eta = Eficiencia\ del\ fluido\ fracturante.$

$V_f = Volumen\ de\ la\ \ fractura.$

$V_i = Volumen\ de\ inyectado.$

Entonces, de un balance de materia sin considerar el fenómeno de filtrado, el volumen de la fractura V_f será igual al volumen de fluido inyectado V_i, y por lo tanto:

$$\overline{W}A_f = q_i t$$ **Ecuación 4.14**

Donde A_f es el área de fractura e igual a $2X_f h_f$.

Reemplazando en Ecuacion 4.14 tenemos:

$$\overline{W}X_f = \frac{q_i t}{2h_f}$$ **Ecuación 4.15**

Para el caso en que $n \rightarrow 0$:

$$A_f = \frac{q_i\sqrt{t}}{\pi C_L r_p} = 2X_f h_f$$ **Ecuación 4.16**

Donde C_L es el coeficiente de fuga y r_p es la relación de la altura permeable para la altura de la fractura $\left(\frac{h}{h_f}\right)$. En una formación de una sola capa de altura permeable es el espesor neto del reservorio, h.

De la relación de ruptura de Sneddon, la presión neta de fracturamiento está dada por:

$$\Delta P_f = P_f - \sigma_{min} = \frac{W_{max}E'}{2h_f} = P_{net}$$ **Ecuación 4.17**

Finalmente, hay también expresiones aproximadas y fáciles de utilizar para la presión neta de fractura para los modelos PKN y KGD utilizando el fluido de fractura Newtoniano.

La presión neta para el modelo PKN, en unidades coherentes, esta expresión es:

$$\Delta \boldsymbol{P_f} \equiv \mathbf{2,31}\left[\frac{\boldsymbol{G^3 q_i \mu X_f}}{(\mathbf{1}-\boldsymbol{v})^3 \boldsymbol{h_f}^4}\right]^{\mathbf{1}/\mathbf{4}}$$ **Ecuación 4.18**

De modo que en unidades de campo:

$$\Delta \boldsymbol{P_f}(\boldsymbol{psi}) \equiv \mathbf{0,0254}\left[\frac{\boldsymbol{G^3 q_i \mu X_f}}{(\mathbf{1}-\boldsymbol{v})^3 \boldsymbol{h_f}^4}\right]^{\mathbf{1}/\mathbf{4}}$$ **Ecuación 4.19**

Donde:

$X_f = Longitud\ de\ la\ fractura\ [ft]$.

$h_f = Altura\ de\ la\ fractura\ [ft]$.

$\mu = Viscosidad\ del\ fluido\ fracturante\ [cp]$.

$v = Relación\ de\ Poisson\ [psi]$.

$q_i = Caudal\ de\ inyección\ [BPM]$.

$G = Módulo\ elástico\ de\ corte\ [psi]$.

La presión neta en unidades de campo para el modelo KGD se expresa así:

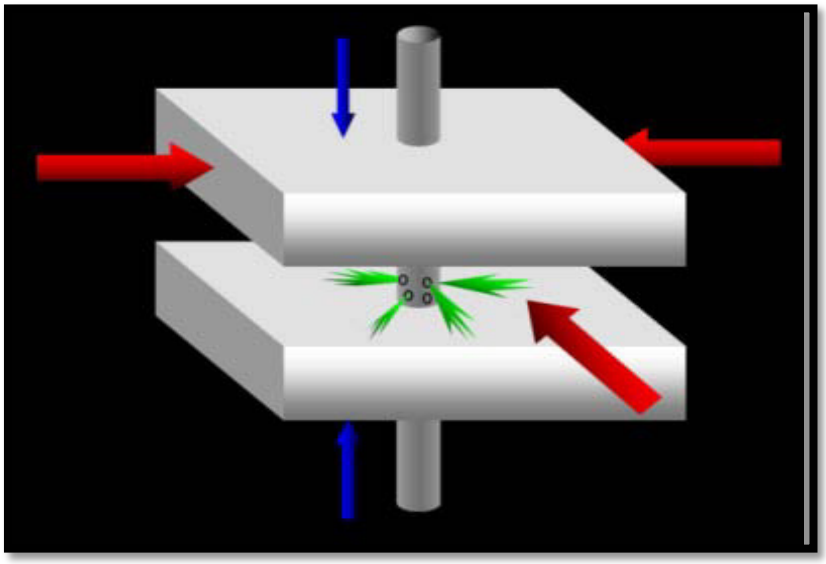
$$\Delta \boldsymbol{P_f}(\boldsymbol{psi}) \equiv \mathbf{0,050}\left[\frac{\boldsymbol{G^3 q_i \mu}}{(\mathbf{1}-\boldsymbol{v})^3 \boldsymbol{h_f X_f}^2}\right]^{\mathbf{1}/\mathbf{4}}$$ **Ecuación 4.20**

4.6. Dirección y Orientación de la Fractura

La fractura se crea y se propaga siempre en sentido perpendicular al de menor esfuerzo de la roca. Por ejemplo una fractura horizontal se crea cuando el esfuerzo vertical es menor que el lateral, esto se puede observar en la Figura 4.3.

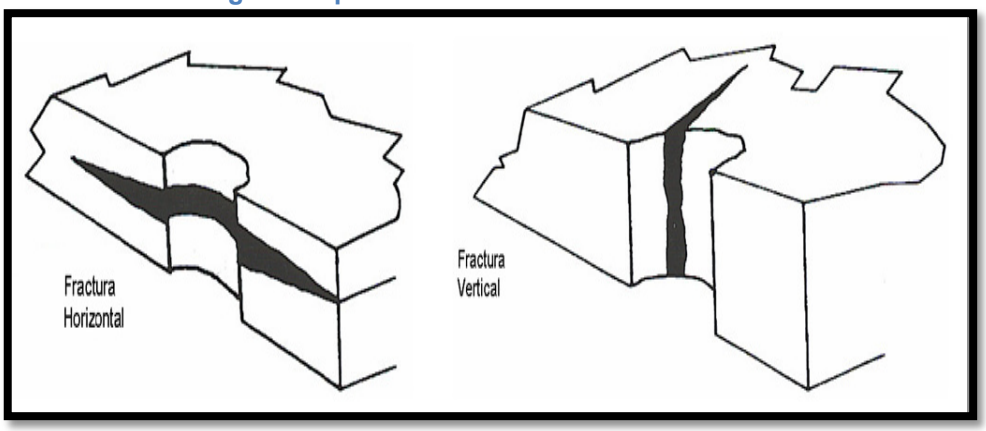
Los factores que tienen mayor influencia en la orientación de la fractura son: la presión de los poros, el módulo de Poisson, el módulo de Young, dureza y compresibilidad de la roca.

Fig. 4.3. Orientación Horizontal de una Fractura



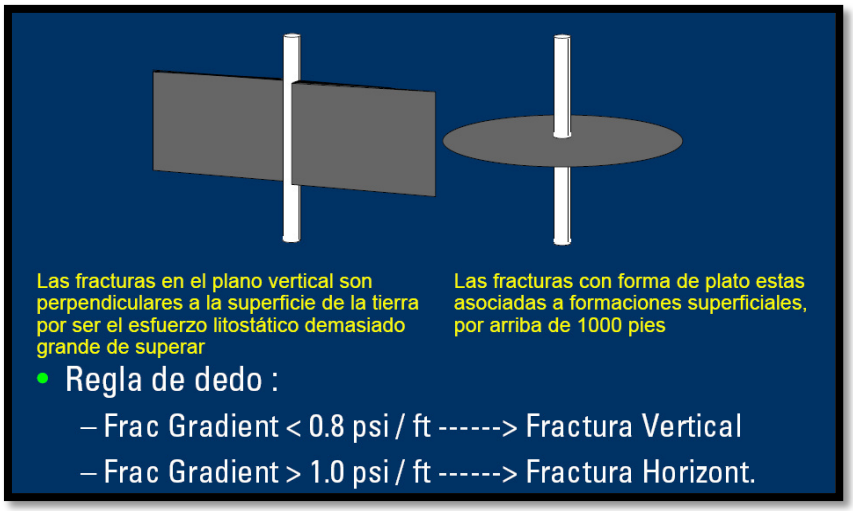
En la figura 4.4 se observa la orientación de la fractura, que puede ser horizontal o vertical:

Fig. 4.4. Tipos de Orientación de una Fractura



Las fracturas en el plano vertical son perpendiculares a la superficie de la tierra por el hecho de que el esfuerzo litostático es demasiado grande de superar. Las fracturas horizontales están asociadas a formaciones superficiales, es decir aquellas que están por arriba de los 1000 pies.

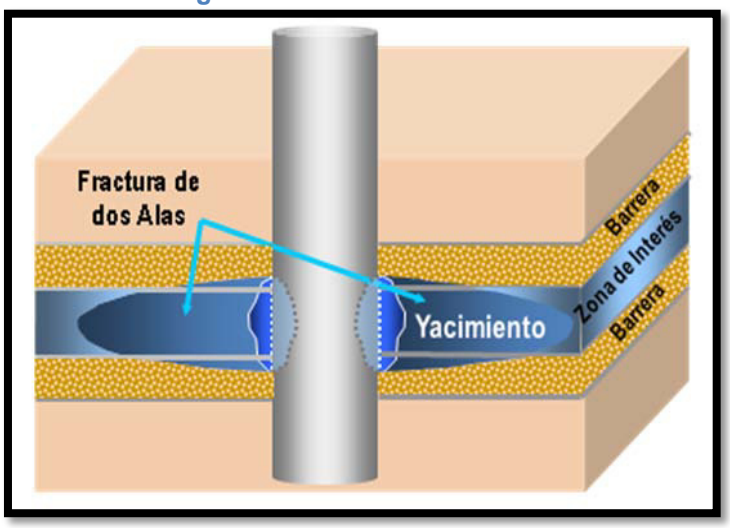
Fig. 4.5. Tipos de Orientación de una Fractura de Acuerdo al Gradiente de Fractura



4.7. Forma de la Fractura

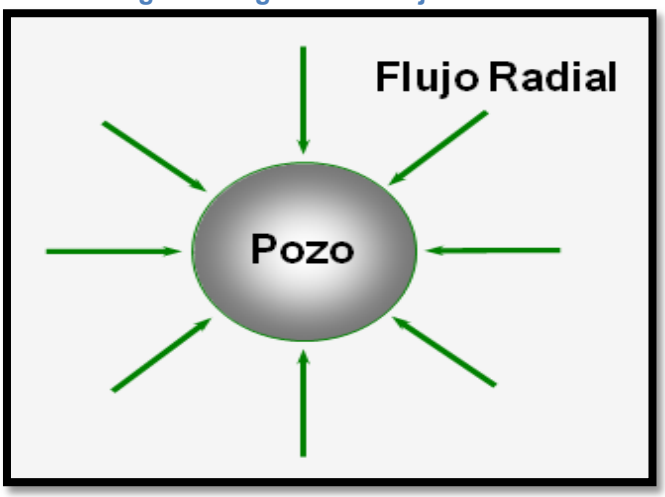
La forma de la estructura de alta conductividad a la que nosotros llamamos fractura es la de “dos alas”, como se observa en la Figura 4.6.

Fig. 4.6. Forma de una Fractura



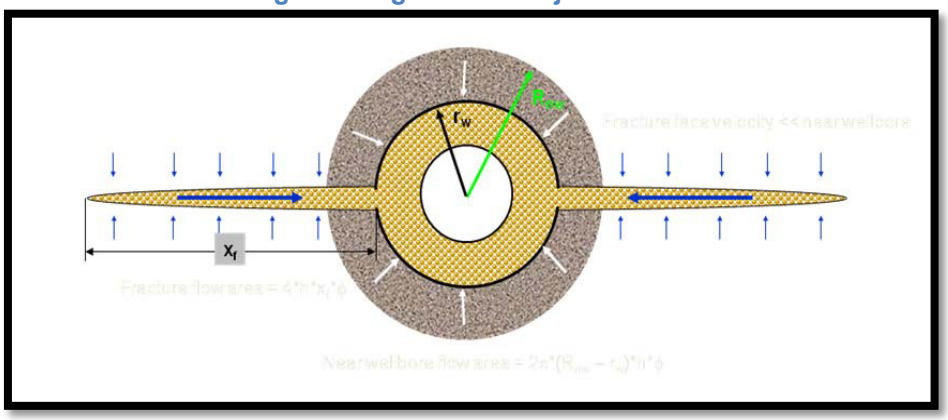
Esta forma de la fractura lo que se hace es cambiar el inicial régimen de flujo que se tenía que era “radial” como se observa en la Fig. 4.6 y se lo hace pasar a uno “bilineal” como se observa en la Fig. 4.7.

Fig. 4.7. Régimen de Flujo Radial



Con lo que se consigue mejorar la producción ya que el desorden con que fluía el hidrocarburo en el régimen radial pasó a uno más ordenado y de mayor área como lo es el bilineal aumentando considerablemente la producción de fluidos del yacimiento.

Fig. 4.8. Régimen de Flujo Bilineal



4.8. Conductividad Efectiva y Adimensional de la Fractura

La conductividad efectiva es una relación entre la permeabilidad y la longitud de la fractura y se la expresa en [md.ft].

La conductividad adimensional de la fractura se usa para medir el potencial productivo de una fractura y se la define de la siguiente manera:

$$F_{cd} = \frac{K_f W_f}{K X_f}$$ **Ecuación 4.21**

Donde:

$F_{cd} = Conductividad\ adimensional\ de\ la\ fractura.$

$K_f = Permeabilidad\ de\ la\ fractura\ [md].$

$W_f = Ancho\ de\ la\ fractura\ [pulg].$

$K = Permeabilidad\ de\ la\ formación\ [md].$

$X_f = Longitud\ de\ la\ fractura\ [ft].$

Las fracturas deberán estar diseñadas para valores que cumplan con la condición $\mathrm{F_{cd}} > 1{,}6$.

CAPITULO 5

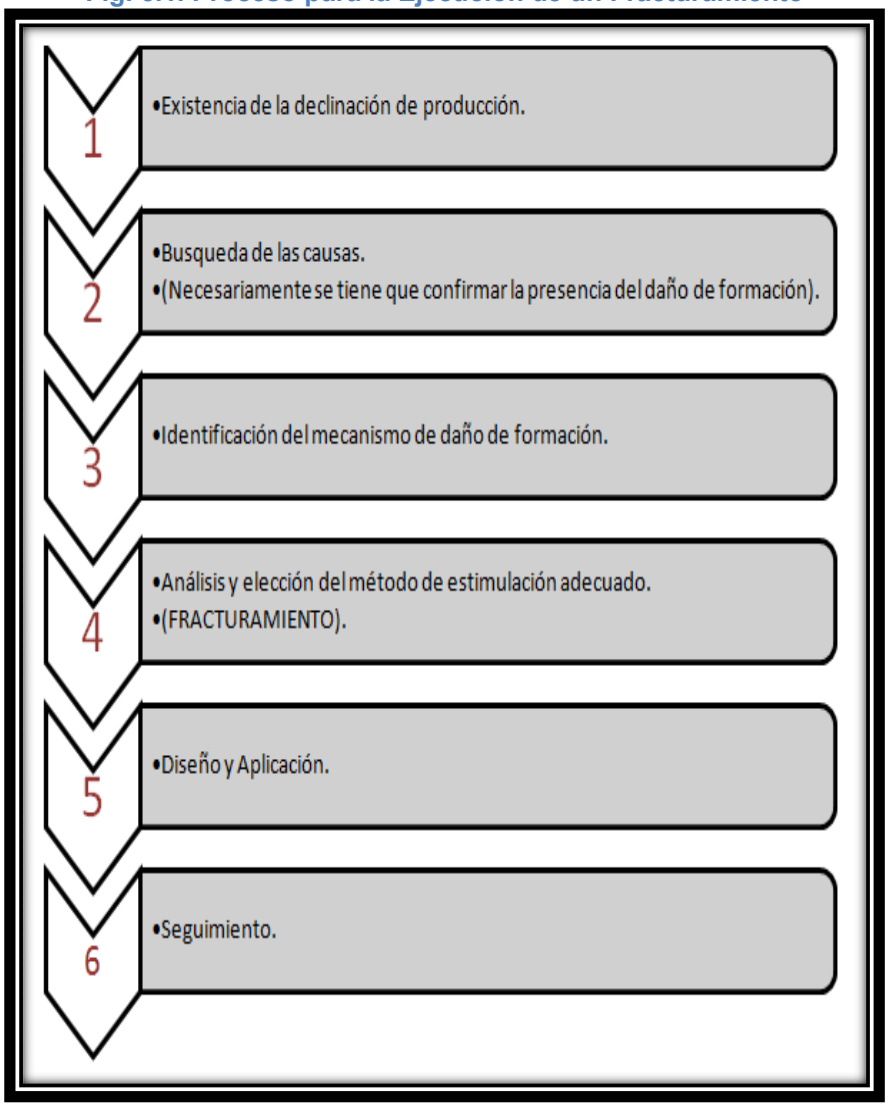
5. FRACTURAMIENTO

De los tipos de estimulaciones que existen como por ejemplo la estimulación matricial, el fracturamiento, limpieza de pozos, control de arena, etc. Solo el fracturamiento es el único que se ejecuta con presiones mayores a la presión de ruptura de la roca.

5.1. Definición de Fracturamiento

El fracturamiento es un tipo de estimulación que en base a un conjunto de procesos tiene por objetivo final la creación de la fractura en la arena productora que ha sido previamente seleccionada para la ejecución de este tipo de operación. En definitiva, en un fracturamiento, el proceso es el que se observa en la Fig. 5.1.

Fig. 5.1. Proceso para la Ejecución de un Fracturamiento



5.2. Objetivo del Fracturamiento

El trabajo de fracturamiento tiene como objetivo principal la creación de canales altamente conductivos en la formación. Con lo que consecuentemente se logra:

1. “Bypassear” la zona de daño que se encuentra en la vecindad del pozo, con lo que se mejora considerablemente la comunicación entre el pozo y la formación.
2. Conectar el pozo con redes o fracturas naturales que pudieran existir dentro del yacimiento.
3. Mejora la productividad debido a que se facilita el drenaje de los hidrocarburos.
4. Incremente la estabilidad del pozo.

5.3. Tipos de Fracturamiento

Existen dos tipos de fracturamiento:

- Fracturamiento Hidráulico
- Fracturamiento Ácido

5.3.1. Fracturamiento Hidráulico

Es una técnica de estimulación que consiste en la inyección de un fluido a una presión tal que provoque la ruptura de la roca del yacimiento, debiéndola mantener abierta con un agente apuntalante una vez que se haya liberado la presión de inyección con el objeto de crear nuevos canales o conectar

canales de flujo ya existentes y de esa forma aumentar la tasa de flujo del pozo y con ello su productividad.

5.3.2. Fracturamiento Ácido

Es un tipo de estimulación que consiste en la inyección de ácido hacia la formación a una presión suficientemente alta para generar una fractura o abrir aún más las que ya existen. Este método de acidificación es utilizado para la estimulación de calizas y dolomitas.

5.4. Fluido de Fracturamiento

El fluido de fracturamiento es un gel que se lo conoce como “gel lineal” y es el que crea la fractura en la formación gracias a la alta presión con que es inyectado, este fluido debe tener la capacidad de transportar arena (apuntalante) al interior de la fractura para evitar su cierre cuando finaliza la operación. Así mismo el fluido debe generar el menor daño posible a la formación, minimizando la concentración de residuos insolubles que afecten la producción del pozo. La selección del fluido de fracturamiento dependerá de la formación en particular que se va a tratar.

Se deberá considerar entre otros los siguientes factores:

1. Compatibilidad con la roca
2. Compatibilidad del fluido de tratamiento – fluido de formación
3. Pérdidas de filtrado
4. Propiedades friccionales en la tubería
5. Capacidad de transporte de apuntalante

Casi todas las propiedades deseables e indeseables de los fluidos fracturantes están relacionadas con su viscosidad.

La viscosidad disminuye con el incremento de temperatura y para el fracturamiento se requiere que el fluido fracturante tenga una viscosidad alta, puesto que esto ayudará a mejorar el transporte del apuntalante.

Un fluido fracturante ideal es aquel que tiene muy baja viscosidad en el momento que es inyectado en el pozo, situación que provoca una baja caída de presión por fricción en el sistema de tuberías, y tiene viscosidad requerida en el fondo del pozo, para transportar adecuadamente el material apuntalante dentro de la fractura.

5.4.1. Propiedades del Fluido de Fractura

Entre las principales propiedades que debe poseer un fluido de fractura tenemos las siguientes:

1. Baja perdida de fluido
2. Buena capacidad de transporte del agente de soporte
3. Bajas pérdidas por fricción
4. Fácilmente recuperable de la formación
5. Compatible con los fluidos de la formación
6. Compatible con los aditivos
7. Causar el mínimo daño a la formación
8. Ser estable a temperaturas de fondo de pozo
9. Seguridad en la manipulación

5.4.2. Tipos de Fluidos de Fracturamiento

Los geles para fracturamiento son compuestos a partir de una gran variedad de aditivos que permiten obtener un fluido que cumpla con las propiedades requeridas para que pueda ser inyectado a la formación.

Entre los tipos de geles para fracturamiento tenemos:

5.4.2.1. Geles Base Agua

Son aquellos fluidos de fractura que tienen al “agua” como fluido base para su constitución. Podemos usar como fluido base los siguientes:

- Agua dulce
- Agua de mar
- Agua salada

Los requerimientos de calidad que debe cumplir el agua que vayamos a usar como base para la constitución de nuestro fluido de fractura son los siguientes:

1. **Acidez (H+):** Entre 5-8. Rango óptimo de pH para lograr la hidratación del polímero.
2. **Alcalinidad (HCO3-):** No más de 1000 ppm de bicarbonatos. Interfiere con la regulación de pH.
3. **Dureza (Ca++, Mg++):** No debe exceder las 250 ppm de dureza total. Interfiere en la estabilidad reológica.

4. **Hierro Total (Fe):** No más de 10 ppm. Produce una reticulación prematura del polímero.
5. **Bacterias:** No más de 100 bact. /ml. Degradan el polímero e impiden el desarrollo de la viscosidad.
6. **Sulfatos:** No más de 175 ppm. Acelera la ruptura del gel.

5.4.2.2. Geles Base Aceite

Son aquellos fluidos de fractura que tienen al “aceite” como fluido base para su constitución, entre estos aceites tenemos a:

- Gas oil
- Kerosén
- Condensados
- Crudos de 40 grados API ó mayores

La principal razón para pensar en sustituir un gel base agua por uno base aceite es cuando el contenido de arcillas de la formación es alto, es decir de orden del 20% o mayores, ó cuando las pruebas de laboratorio comprobaron una alta sensibilidad de la formación a los fluidos de base agua.

Los requerimientos de calidad que debe cumplir el hidrocarburo (aceite) que vayamos a usar como base para la constitución de nuestro fluido de fractura son los siguientes:

1. **Gravedad API:** debe ser similar al menos a la reportada en los ensayos de laboratorio.
2. **Sulfuro de Hidrógeno:** debe contener nada o poco.
3. **Sólidos:** excesivos puede resultar en una reducción de la permeabilidad y/o conductividad.
4. **Agua:** valores excesivos (>10%) resultan en un gel muy débil.
5. **pH:** excesiva acidez puede resultar en un gel muy débil o ausencia total de gelificación.
6. **Asfaltenos y Parafinas:** valores excesivos resultan en un gel muy débil o ausencia total de gelificación.

Se deberá tener en cuenta que los geles de base agua ofrecen varias ventajas sobre los geles base aceite, por lo tanto estos últimos se recomiendan solo

cuando se comprueba incompatibilidad de los primeros con la formación.

5.4.2.3. Ventajas de los Geles Base Agua sobre los Geles Base Aceite

Entre las principales podemos mencionar:

1. Mejor capacidad de transporte (Viscosidad).
2. Menor costo y mayor disponibilidad del fluido base.
3. Mayor seguridad al ser el agua un fluido no – inflamable.
4. Facilidad de manejo de desechos (Disposición de fluidos sobrante).

5.4.3. Aditivos

Los aditivos son aquellas sustancias que se mezclan en cantidades adecuadas con el fluido base para obtener un fluido de fracturamiento con las propiedades requeridas.

Entre los principales tenemos:

5.4.3.1. Gelificantes

Constituye el aditivo principal para formar lo que se conoce como “GEL LINEAL” ya que es este aditivo hace que el fluido base (agua) gane mucha viscosidad como se observa en la figura 4, uno de los aditivos más usados como agente gelificante es la “GOMA GUAR” que es un polisacárido (azúcar múltiple). Para la operación de fractura necesitamos una viscosidad de gel lineal que normalmente varía entre 20 y 30 cps.

Fig. 5.2. Muestra de la Goma Guar y el Gel Lineal

5.4.3.2. Bactericidas

Controlan la contaminación por bacteria. Los tipos de agua con los que se preparan los geles fracturantes

contienen bacterias que tienen su origen en la fuente ó en el tanque de almacenamiento. Las bacterias producen enzimas que a su vez causan los siguientes problemas:

1. *Degradación del gel*. Lo que significa que hay una disminución rápida de la viscosidad, existe una pérdida de la habilidad del gel para croslinquearse y además existe una caída del pH.
2. Contaminación del pozo y de la formación
3. Corrosión y producción de sulfuro de hidrógeno

5.4.3.3. Buffers

Sirven básicamente para adecuar el pH del medio acuoso.

En particular estos buffers nos permiten controlar el pH para obtener un óptimo medio para croslinquear el gel y por ende, lograr una buena viscosidad y mejorar la capacidad de suspensión del agente de sostén.

Se los seleccionan de acuerdo al fluido, temperatura y características del agua de mezcla.

Entre los principales tenemos al Ácido fumárico, Bicarbonato de sodio y al Carbonato de Sodio.

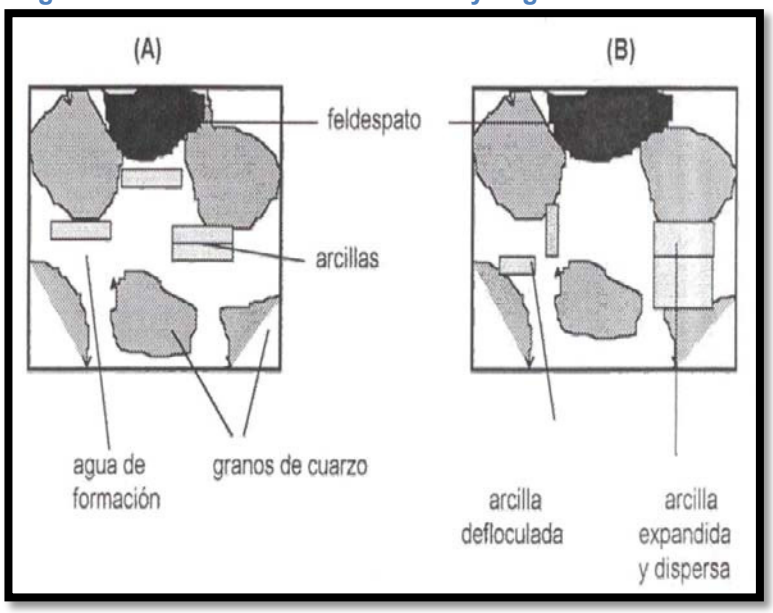
5.4.3.4. Estabilizadores

Las arcillas son minerales de aluminosilicatos con una estructura cristalina en forma de láminas. El tamaño suele ser menor que 1/256 mm.

Todas las arcillas son susceptibles a cambios al contactarse con agua dulce, ya que se produce un desbalanceo iónico.

Las arcillas se expandirán, posiblemente cerca de los poros produciendo daño en la formación con lo que disminuirá su permeabilidad, algunas se dispersarán y serán capaces de migrar hacia otra ubicación.

Fig. 5.3. Procesos de Hinchamiento y Migración de Arcillas



En la parte (A) de la figura se muestra un sistema balanceado, donde las arcillas se encuentran estables y floculadas (no expandidas). En la parte (B) tenemos partículas de arcilla en un sistema de agua en el que se hallan inestables, dispersas (expandidas) y defloculadas.

El efecto de un fluido acuoso en las arcillas dependerá de:

- La estructura química de las arcillas
- La diferencia de salinidad entre el agua nativa de formación y el fluido inyectado

- La ubicación de las partículas en la matriz ó los poros
- El modo en el que estén cementadas a la matriz
- La cantidad de arcilla presentes

Los estabilizadores de arcilla minimizan o inhiben la compatibilidad del fluido con la matriz. Entre los ejemplos de estabilizadores tenemos al Clay Master, FSA-1, Cloruro de Amonio, etc.

Un estabilizador de arcilla nuevo es el **"ONE STEP"** lo que hace este producto es cubrir las paredes de los poros de la roca con una película que se asemeja a una lamina de vidrio lo que le da dureza y resistencia a las paredes de los poros evitando así que la arcilla pueda migrar y provocar taponamiento por acumulación.

5.4.3.5. Reductores de Filtrado

Para poder generar una geometría de fractura apropiada en cuanto al ancho y largo principalmente, se debe evitar que el gel o por lo menos parte de

este, se filtre a la formación a través de las paredes de la fractura inducida. Esto se logra mediante un aditivo de control de pérdida de filtrado, el cual a su vez, deberá ofrecer propiedades que minimicen el potencial de daño en la fractura y en la matriz de la formación.

La efectividad del aditivo para controlar filtrado es función de la permeabilidad, el tipo y tamaño de partículas y de la concentración del aditivo.

5.4.3.6. Surfactantes

Su rol principal es la prevención de emulsiones, bajar la tensión superficial y los cambios de mojabilidad.

La humectabilidad en las caras de las fracturas origina cambios en la zona invadida, por ello los surfactantes son agregados para la limpieza post tratamiento.

Algunos ejemplos de surfactantes utilizados tenemos al Aquafrec, SC- 40, SC-25.

5.4.3.7. Rompedores (Breakers)

Se los usan para reducir la viscosidad del fluido de fractura, se lo activa con un catalizador y generalmente es usado en la limpieza de los residuos en los trabajos de post tratamiento, es decir los rompedores permiten una vez acomodado el apuntalante dentro de la fractura, que el gel rompa a una viscosidad igual o muy cercana a la del fluido base (agua en este caso), lo que permitirá recuperar el fluido de tratamiento y poner el pozo a producir.

Entre los ejemplos de rompedores tenemos al R-5 (Persulfato de amonio) y el Superperm 5.

5.4.3.8. Reductores de Fricción

Es de gran importancia para permitir presiones de cabeza por debajo de los máximos limitantes por las condiciones mecánicas del pozo. De no ofrecer bajas propiedades friccionales el fluido de fracturamiento, se requeriría de una potencia hidráulica disponible en cabeza fuera de los límites económicos de cualquier operación.

Generalmente, los gelificantes para fluidos base agua son colateralmente excelentes reductores de pérdidas de fricción por lo tanto no se requieren aditivos adicionales para este fin, pero en el caso de que el fluido base sea aceite entonces si se requerirá el uso de este aditivo.

5.4.4. Apuntalante

El denominado apuntalante ó también conocido como propante es una “arena” que puede ser natural o sintética que se inyecta mezclado con el fluido de fractura y su función principal es la de mantener abierto los canales fracturados una vez que la gran presión de inyección con la que se originó la fractura comience a disminuir.

La arena natural es el propante más común especialmente en formaciones de bajo esfuerzo, en cambio para formaciones de alto esfuerzo empleamos la arena sintética que no es más que una arena natural revestida con resina, esta resina le da a la arena mayor resistencia lo que le hace útil para este tipo de formaciones. A continuación se presenta una tabla de

clasificación general de los apuntalantes que se pueden usar según la presión de cierre que se tenga.

Tabla 5.1. Clasificación de los Apuntalantes de acuerdo a la Presión de Cierre

TIPO DE APUNTALANTE	PRESIÓN DE CIERRE (psi)
Arena	< 5000
Arena recubierta (resina)	4000 - 8000
Intermedio (materiales cerámicos)	5000 -12000
Bauxita sinterizada	10000 - 15000

Las propiedades del propante que afectan el éxito de la fractura hidráulica incluyen:

1. Tamaño del grano
2. Distribución del grano
3. Calidad (calidad de impurezas)
4. Redondez y esfericidad
5. Densidad del propante
6. Porosidad del paquete propante

Todas estas propiedades afectan la permeabilidad del paquete de propante inicial, lo cual a su vez afecta la conductividad de la fractura. La distribución del tamaño de

grano, la calidad, la redondez y la esfericidad son todos afectados por el valor del esfuerzo. Las otras propiedades principales, tales como tamaño de malla, porosidad y densidad de la mayoría de propante comunes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.2. Propiedades de los Propantes más comunes

Tipo de Propante	Malla (Tamaño)	Tamaño P (in)	Densidad (lb/ft3)	Porosidad (%)
Northem White Sand	12/20	0.0496	165	0.38
	16/30	0.0350	165	0.39
	20/40	0.0248	165	0.40
Texas Brown Sand	12/20	0.0496	165	0.39
	16/30	0.0350	165	0.40
	20/40	0.0248	165	0.42
Curable Resin Coated Sand	12/20	0.0496	160	0.43
	16/30	0.0350	160	0.43
	20/40	0.0248	160	0.41
Precured Resin Coated Sand	12/20	0.0496	160	0.38
	16/30	0.0350	160	0.37
	20/40	0.0248	160	0.37
ISP	12/20	0.0496	198	0.42
	20/40	0.0248	202	0.42
ISP Lighweight Sintered Bauxite	20/40	0.0248	170	0.40
	16/20	0.0400	231	0.43
	20/40	0.0248	231	0.42
	40/70	0.0124	231	0.42

5.5. Equipo de Fracturamiento

Los equipos de fracturamiento están actualmente constituidos por:

- Equipos de almacenamiento de fluidos
- Equipos de almacenamiento de agentes de sostén
- Equipos mezcladores (BLENDERS)
- Equipos de bombeo de alta presión
- Centro de control
- Líneas de superficie

5.5.1. Equipos de Almacenamiento de Fluidos

Estos equipos lo constituyen los tanques de almacenamiento del “Fluido base” y los tanques de almacenamiento del “Gel lineal” como se muestran en la Fig.5.4 y Fig.5.5 respectivamente.

Fig. 5.4. Tanques de Almacenamiento de Fluido Base

La diferencia entre uno y otro tipo de dispositivo de almacenamiento de fluido está en la forma, mientras que para el “Fluido base” se utiliza por lo general tanques rectangulares con capacidades de 500 barriles, para el almacenamiento del “Gel lineal” se emplea tanques cilíndricos verticales como es apreciable en las figuras anteriormente mencionadas.

Las capacidades de estos equipos de almacenamiento son de acuerdo a las necesidades que existan, actualmente se tienen tanques con capacidades de 500, 470, 440 y 320 barriles.

Fig. 5.5. Tanques de Almacenamiento de Gel Lineal

5.5.2. Equipos de Almacenamiento de Agentes de Sostén

Este equipo lo constituye el depósito denominado “SILO DE ARENA” donde se tienen almacenados los agentes que servirán para mantener abierta la fractura una vez que esta ya ha sido creada.

De estos depósitos de almacenamiento es de donde se extraerá de manera adecuada y controlada el agente de sostén también conocido como “propante” ó “arena” y se lo mezclará en los denominados BLENDERS con el fluido de fractura para su posterior inyección al pozo.

Fig. 5.6. Tanques de Almacenamiento de Agentes de Sostén

5.5.3. Equipos Mezcladores (BLENDERS)

El Blender literalmente es el “corazón” de la operación de fractura. Los productos de fractura se mezclan en el Blender antes de ser bombeados al pozo. Los Blenders cumplen tres funciones:

1. Extraer el fluido de los tanques de almacenaje. Este proceso lo realiza gracias a que poseen los denominados Manifolds y bombas de succión.
2. Mezclar la cantidad adecuada de agente de sostén y otros aditivos con el fluido. Este proceso se lo realiza en la denominada BATEA DE MEZCLA, que es donde se mezclan aditivos gelificantes, surfactantes, reductores de filtrado, etc.
3. Enviar el fluido cargado con agente de sostén (lechada) a las secciones de los equipos de bombeo a baja presión (usualmente 60 psi o menores). Este proceso lo realiza gracias a que poseen las bombas y los manifolds de descarga.

Fig.5.7. Blender de Fracturamiento

5.5.4. Equipos de Bombeo de Alta Presión

La potencia de cualquier sistema de bombeo para introducir los fluidos y productos al pozo está dado por la bomba para fracturar o también denominada “Frac Pump”, este equipo es el encargado de recibir los fluidos que son enviados a baja presión desde el BLENDER y proporcionarles a estos la suficiente potencia de tal manera que el fluido de fractura que salga de este dispositivo lo haga a altas presiones para que pueda hacer su recorrido desde superficie y llegue hasta la zona productora que se desea fracturar y cumplir con el objetivo de crear la fractura, para este trabajo se utiliza, SPF-343 (2 unidad de bombeo x 1,800 HHP).

Fig. 5.8. Bombas de Fracturamiento

5.5.5. Centro de Control

El centro de control de la operación de fractura de un pozo la constituye una caseta donde se reúnen los ingenieros expertos en la operación de fractura, quienes dan las órdenes y observan el desarrollo de las mismas a través de los monitores que se encuentran instalados dentro de esta caseta de control, además de los ingenieros encargados de llevar a cabo el fracturamiento dentro de esta caseta se reúnen el “tool pusher” y el “company man” del pozo que está siendo intervenido, quienes verifican que todo el programa de fracturamiento se esté llevando a cabo de acuerdo a lo que se ha planificado con anterioridad.

Fig. 5.9. Centro de Control

Cabe recalcar que los ingenieros mantienen constante comunicación radial con el ingeniero encargado de la fractura en la parte externa de la cabina y con los encargados del correcto funcionamiento de cada uno de los equipos.

En los Blenders, salvo las válvulas de succión y descarga, todo el accionamiento de los sistemas involucrados se controlan desde un panel central, a éste llegan las mediciones de caudal de las bombas, caudales de aditivos líquidos y sólidos, y proporción de arena, por lo que el operador del Blender puede controlar perfectamente todos los materiales involucrados. El operador de Blender ó también llamado “key man” es una de las personas más importantes en una operación de fractura, ya que debe llevar el control de aditivos, caudal, alimentación de las bombas de alta presión, dosificación de arena y control de nivel de tanque.

5.5.6. Líneas de Superficie

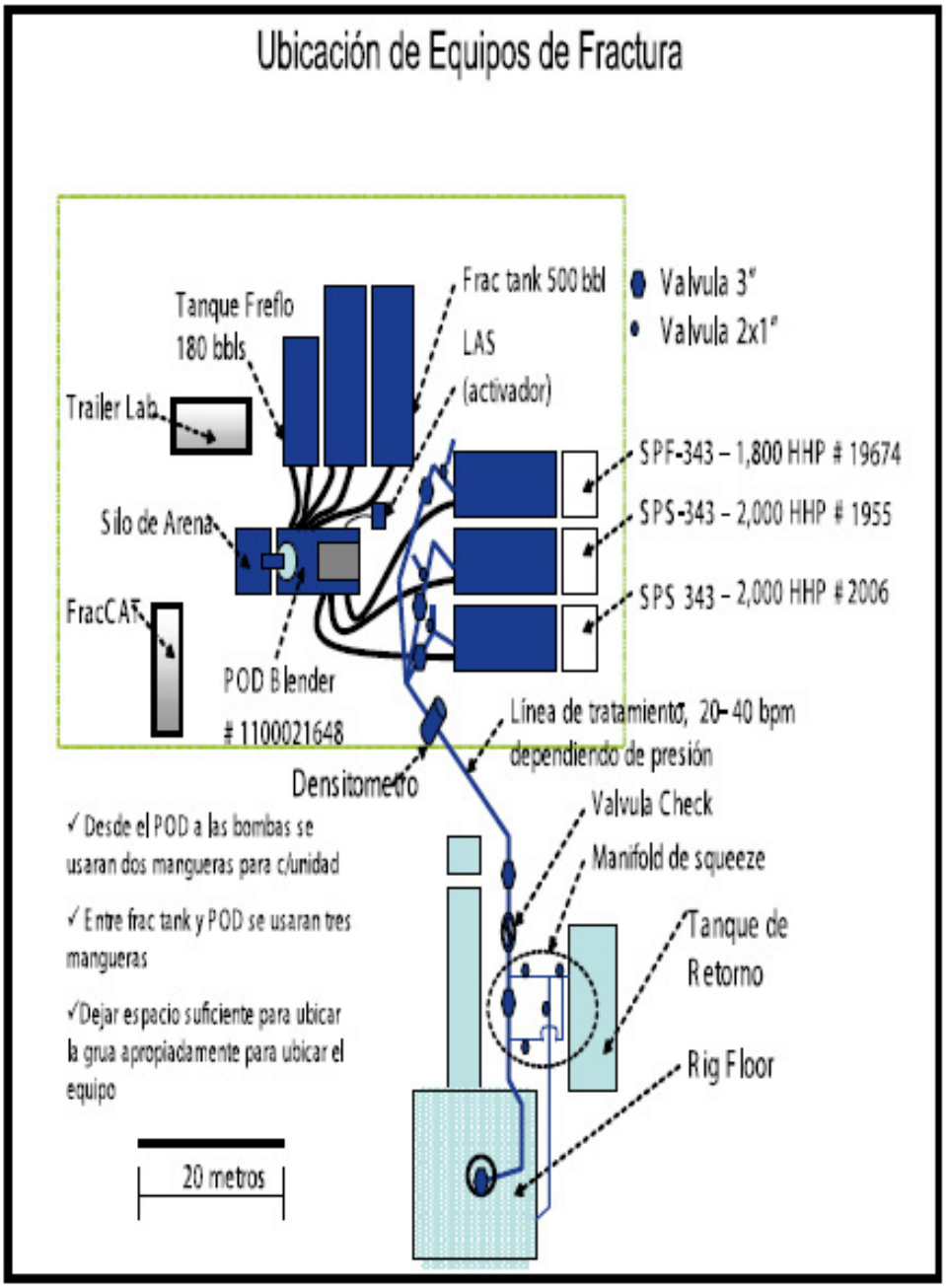
En cuanto a las líneas de superficie lo constituyen las mangueras flexibles de succión y descarga que se utilizan para enviar los fluidos desde su lugar de almacenaje al equipo de mezcla de aditivos y a los equipos de bombeo respectivamente. Las mangueras de succión normalmente están disponibles en un tamaño 4” y están diseñadas para satisfacer los requerimientos de succión de todo el equipo de mezcla y aditivos. Todas las mangueras de descarga están diseñadas para soportar una presión de descarga normal del Blender de 60 psi y tienen una capacidad nominal de presión de trabajo de 250 psi.

Fig. 5.10. Líneas de Superficie utilizadas para transportar el Fluido de Fractura

5.5.7. Ubicación de los Equipos en Locación

A continuación se presenta una vista en planta de la ubicación de los equipos en la locación.

Fig. 5.11. Ubicación de Equipos en Locación



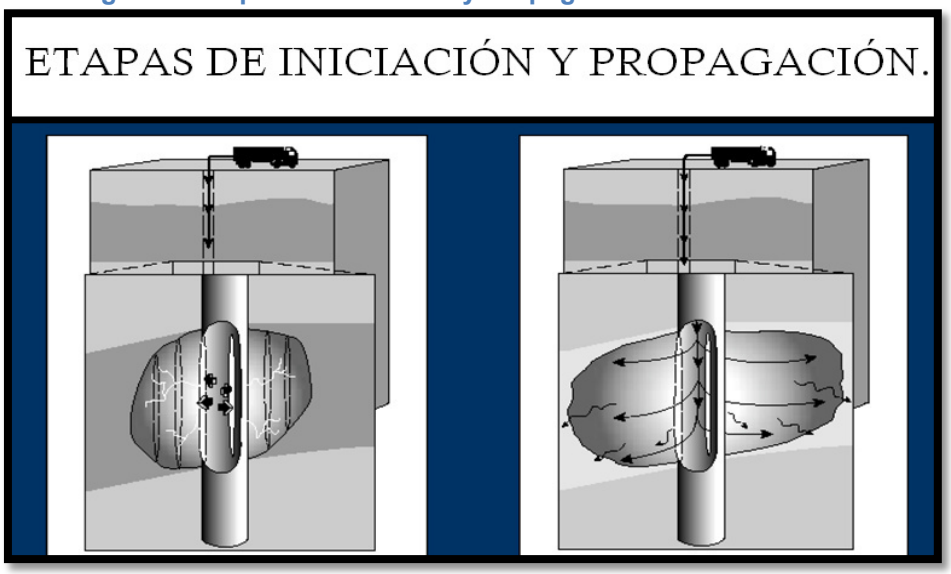
5.6. Fases del Fracturamiento

El proceso de fracturamiento que conlleva a la creación de la fractura en el subsuelo consta de 4 etapas:

1. Etapa de Iniciación
2. Etapa de Propagación
3. Etapa de Apuntalamiento
4. Etapa de Producción

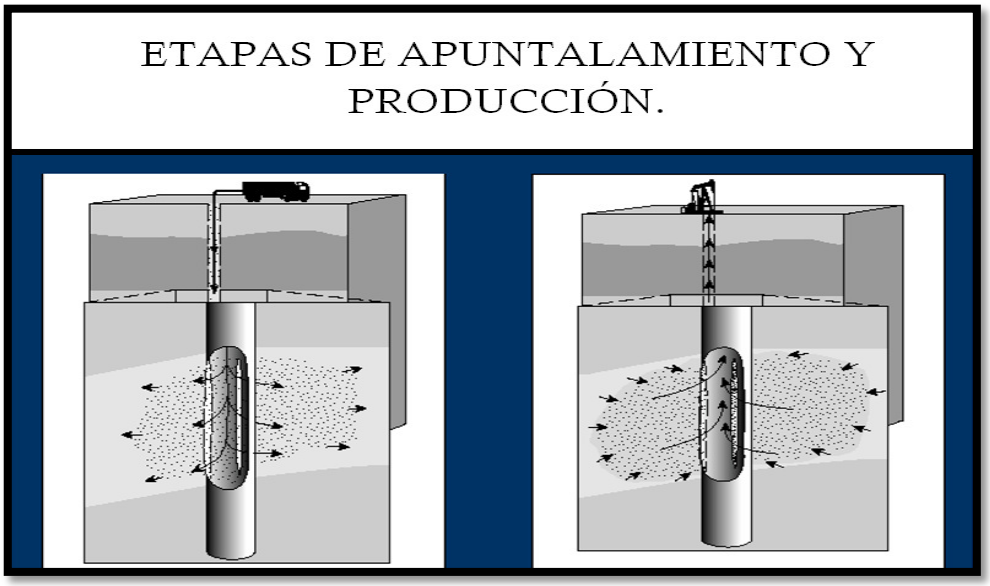
La etapa de “Iniciación de la Fractura” ocurre cuando el fluido de fractura ha logrado apenas superar la presión de ruptura de la matriz de la roca, creando por consecuencia las primeras fisuras en la roca, como se observa en la figura 5.12.

Fig. 5.12. Etapas de Iniciación y Propagación de una Fractura



La consecuente continuación de la inyección del fluido de fractura una vez que ya se ha creado las primeras fisuras dan origen a lo que se llama la “Propagación de la Fractura” que es nuestra segunda fase y que se la puede observar también en la figura 5.12. Luego de que la fractura ya ha sido propagada hasta alcanzar su objetivo que es la de Bypassear la zona crítica, se procede a la inyección del apuntalante, el cuál mantendrá abierta la fractura y con este queda listo para la última fase que es la puesta a producción del pozo, con lo que se espera que este ya haya alcanzado una mejora considerable en cuanto a lo que a la producción de hidrocarburos se refiere. Las fases de apuntalamiento y producción se observan en la figura 5.13.

Fig. 5.13. Etapas de Apuntalamiento de la Fractura y Producción del Pozo



CAPÍTULO 6

6. CASO DEL POZO ANPA-12D

6.1. Análisis de la Prueba de Presión del Pozo ANPA-12D usando el Software PANSYSTEM

1. Para proceder a realizar el análisis de una prueba de presión utilizando este software, necesitamos contar con la Data de dicha prueba de presión ejecutada en el pozo en cuestión, así como también con la hoja de datos básicos del pozo, los cuales constituyen la información básica que el software necesita para poder desarrollar sus procedimientos algorítmicos para posteriormente entregarnos resultados los cuales están reflejados en gráficas y valores de parámetros resultantes de la prueba.

Fig. 6.1. Data de la Prueba de Presión Ejecutada al Pozo ANPA-12D

```
Well:        ANPA 12
Company Name:        ALIANZAS OPERATIVAS
Test Date(s):        27@30 -SEP-2008
Run Depth:           "ARENA ""Ti""  GAUGE-9578 @  9474 ft"
Start Date:          2008-Sep-27 14:05:28
End Date: 2008-Sep-30 09:08:23
Comments:            ELEMENTOS CONECTADOS
@ STANDING VALVE TIPO FLAUTA Y
"ALOJADOS EN 2 7/8"" NO-GO PARA "
TOMAR REGISTRO DE RESTAURACION
DE PRESION.
TEC: G.POZO

Cum Time Pres        Temp
Hour     PSIa        Deg F
0        16.14647 86.8748
0.00139  16.1311  86.8802
0.00278  16.12326 86.8946
0.00417  16.12225 86.8982
0.00556  16.11529 86.909
0.00694  16.10804 86.9198
0.00833  16.10441 86.9378
0.00972  16.09455 86.9612
```

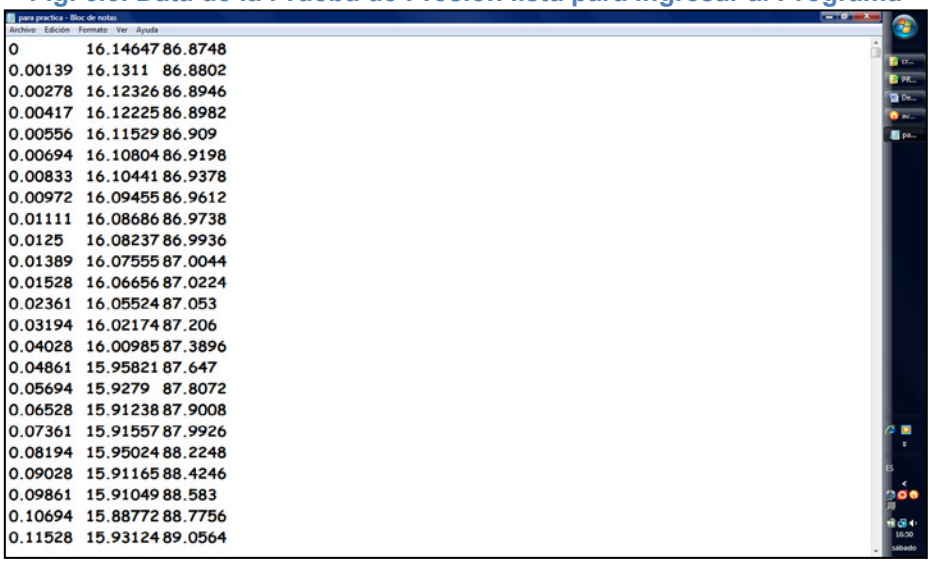
Fig. 6.2. Hoja de Datos Básicos del Pozo ANPA-12D

9							
10	POZO	ANPA -12 D			FECHA	27@30 -SEP-2008	
11							
12	ARENA	Ti			MEDIDOR	ZI-W9578	
13							
14	INTERVALOS						
15							
16			9700-9738 (38 ft)				
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26	ESPESOR TOTAL DE FORMACION			46 ft			
27	ESPESOR NETO DE FORMACION			38 ft			
28		RADIO DEL POZO		0,29"			
29		POROSIDAD		17%			
30	PROFUNDIDAD DE LA ELECTRONICA			9474 ft			
31	PRODUCCION TOTAL DIARIA			480			
32		BSW		34%			
33		API		31,8			
34		GOR		396			
35	PRESION DE BURBUJA			1283			
36							

2. Para poder usar el programa, la Data de la prueba de presión debe constar solo de los datos numéricos, para lo cual se

procede a eliminar el encabezado que corresponde a la información básica del pozo, intervalo, fecha etc.

Fig. 6.3. Data de la Prueba de Presión lista para ingresar al Programa



0	16.14647	86.8748
0.00139	16.1311	86.8802
0.00278	16.12326	86.8946
0.00417	16.12225	86.8982
0.00556	16.11529	86.909
0.00694	16.10804	86.9198
0.00833	16.10441	86.9378
0.00972	16.09455	86.9612
0.01111	16.08686	86.9738
0.0125	16.08237	86.9936
0.01389	16.07555	87.0044
0.01528	16.06656	87.0224
0.02361	16.05524	87.053
0.03194	16.02174	87.206
0.04028	16.00985	87.3896
0.04861	15.95821	87.647
0.05694	15.9279	87.8072
0.06528	15.91238	87.9008
0.07361	15.91557	87.9926
0.08194	15.95024	88.2248
0.09028	15.91165	88.4246
0.09861	15.91049	88.583
0.10694	15.88772	88.7756
0.11528	15.93124	89.0564

3. Una vez que la Data esta lista entonces se procede a cargarla en el programa.

Fig. 6.4. Portada del Software

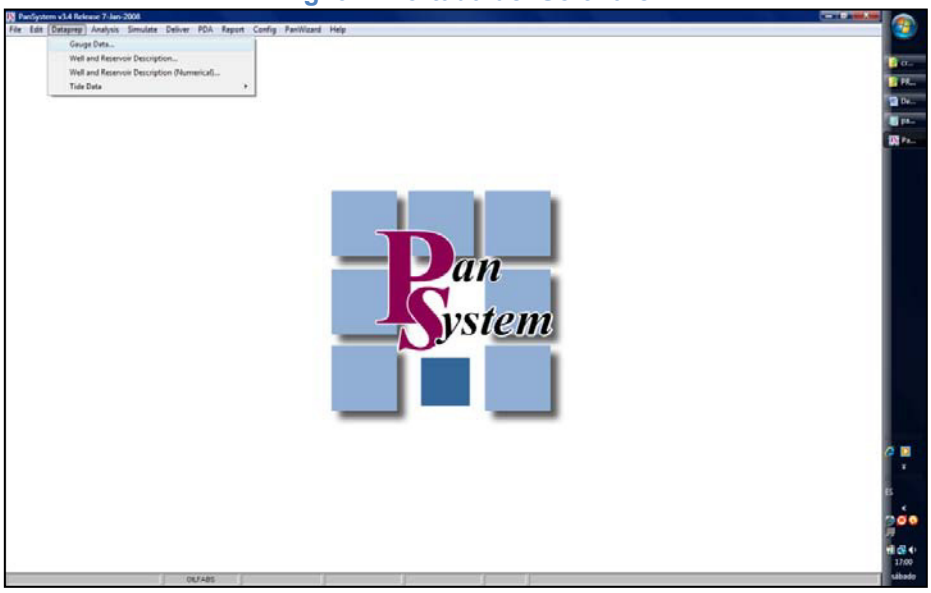


Fig. 6.5. Recuadro para el ingreso de la Data de la Prueba de Presión

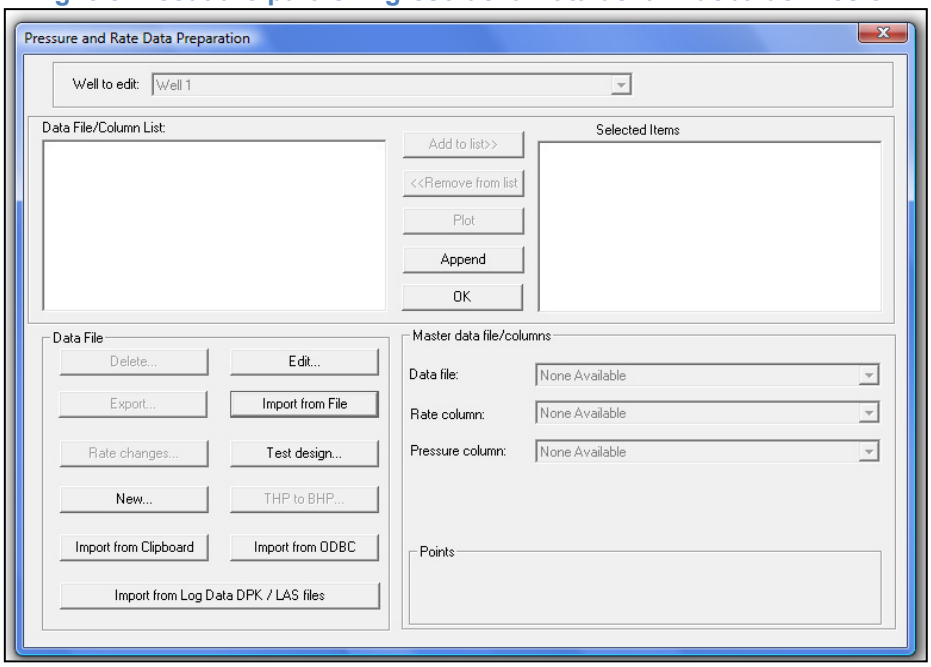
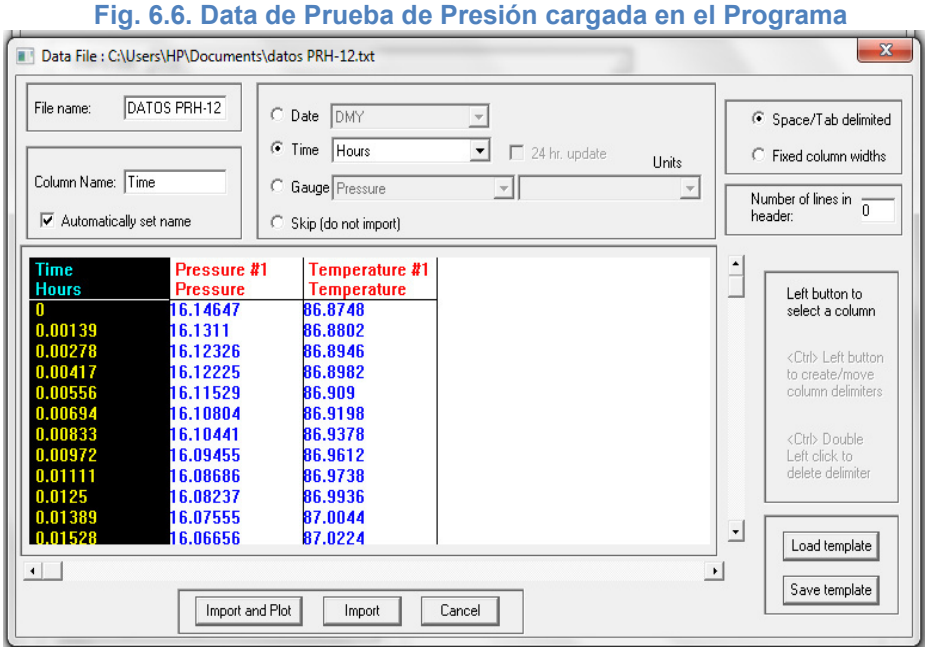


Fig. 6.6. Data de Prueba de Presión cargada en el Programa



4. A continuación obtenemos un pequeño recuadro que nos indica el número de datos cargados al software (tiempo, presión y temperatura), en este caso 8056 datos, aceptamos y a continuación aparece la primera gráfica que tiene registrado la presión y los tiempos de la prueba.

Fig.6.7. Número de Datos cargados en el Programa

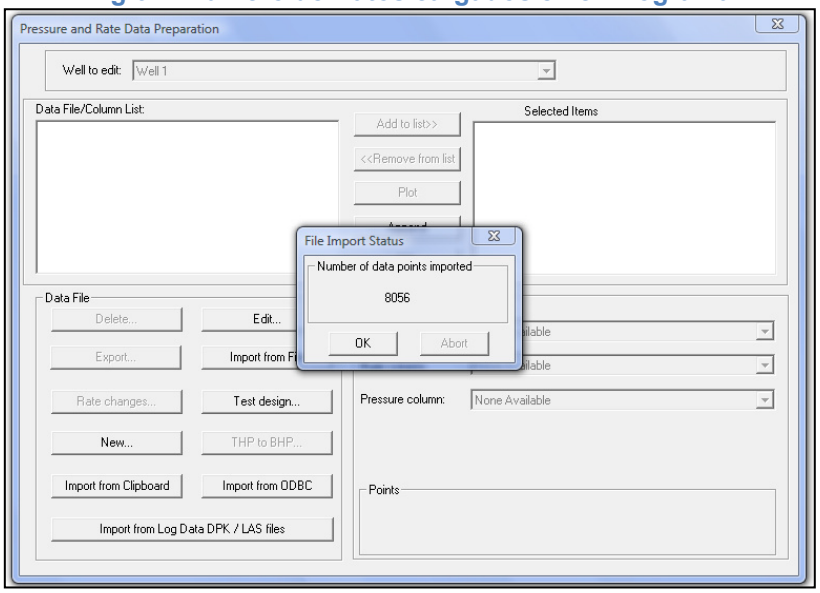
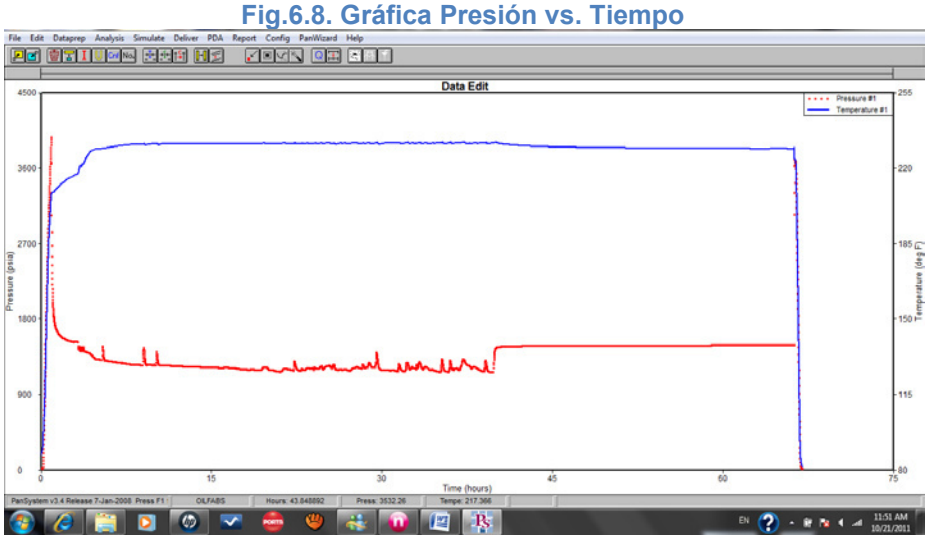
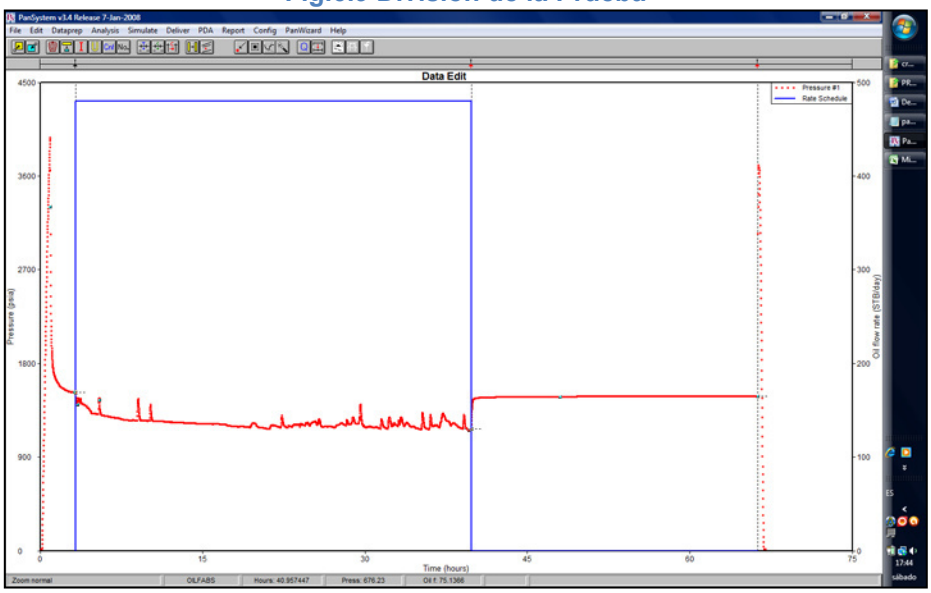


Fig.6.8. Gráfica Presión vs. Tiempo



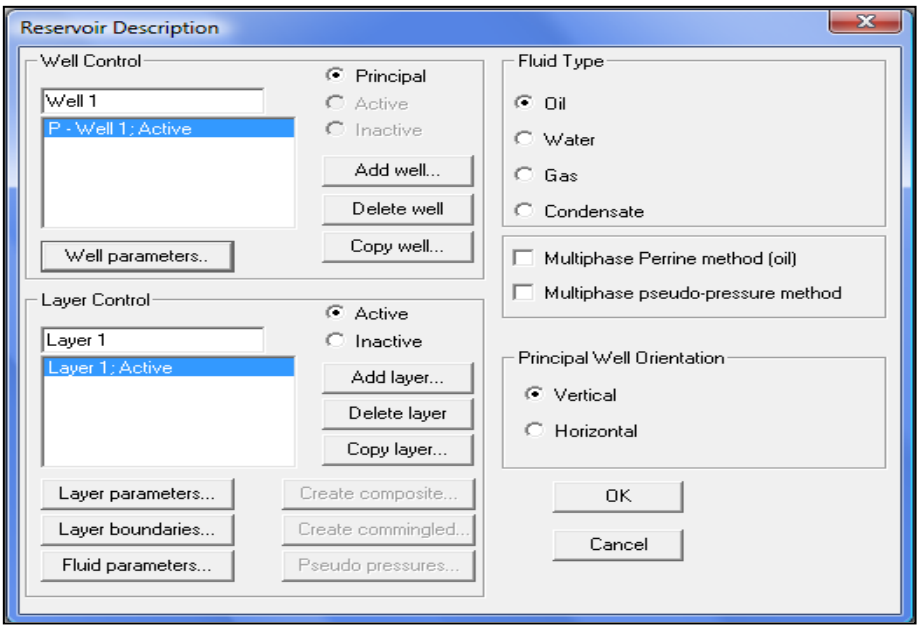
5. Se procede a definir el tiempo de producción tp (Drawdown), así como el tiempo de restauración ó cierre delta t (Build-up), como se observa en la siguiente gráfica:

Fig.6.9 División de la Prueba



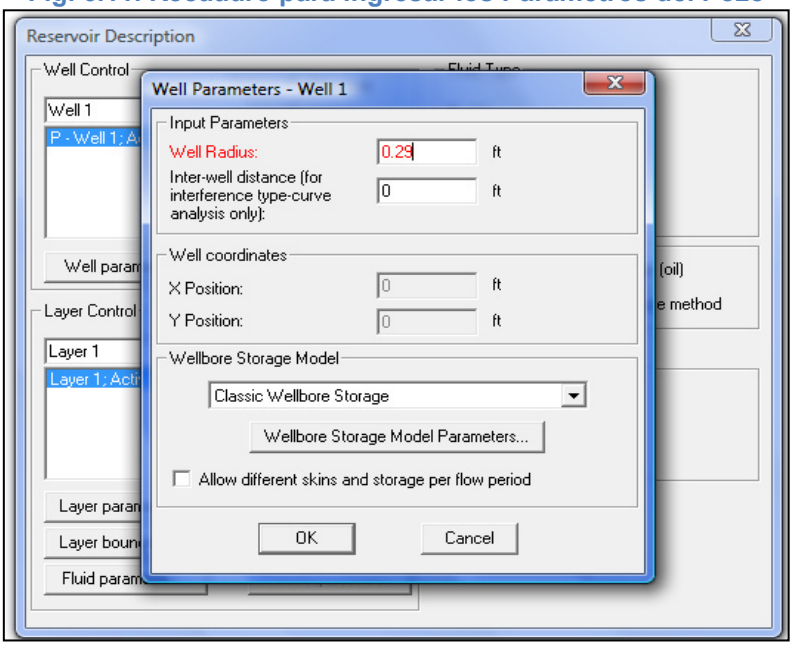
6. Se introduce la información relativa al pozo y al reservorio, siguiendo la opción “DATA PREP.” y luego “WELL AND RESERVOIR DESCRIPTION”, nos sale un recuadro donde están las opciones de llenado “WELL PARAMETERS”, “LAYER PARAMETERS”, “LAYER BOUNDARIES” and “FLUID PARAMETERS”.

Fig. 6.10. Recuadro para el ingreso de Datos del Pozo, Fluido y Reservorio



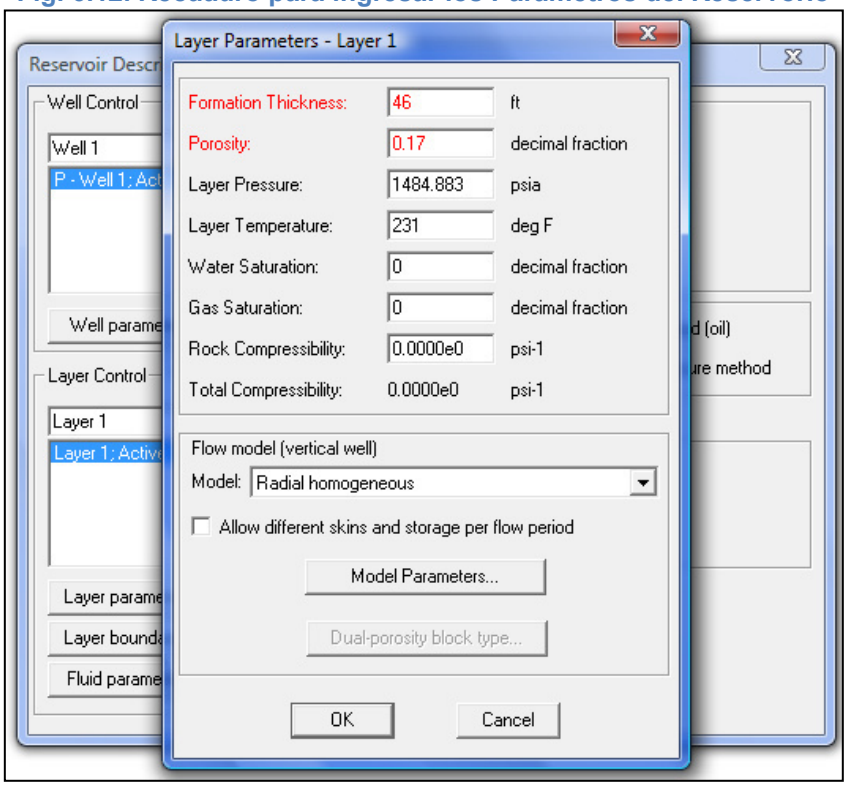
7. En la opción “WELL PARAMETERS”, se pone el valor del radio del pozo, en este caso 0.29 ft.

Fig. 6.11. Recuadro para ingresar los Parámetros del Pozo



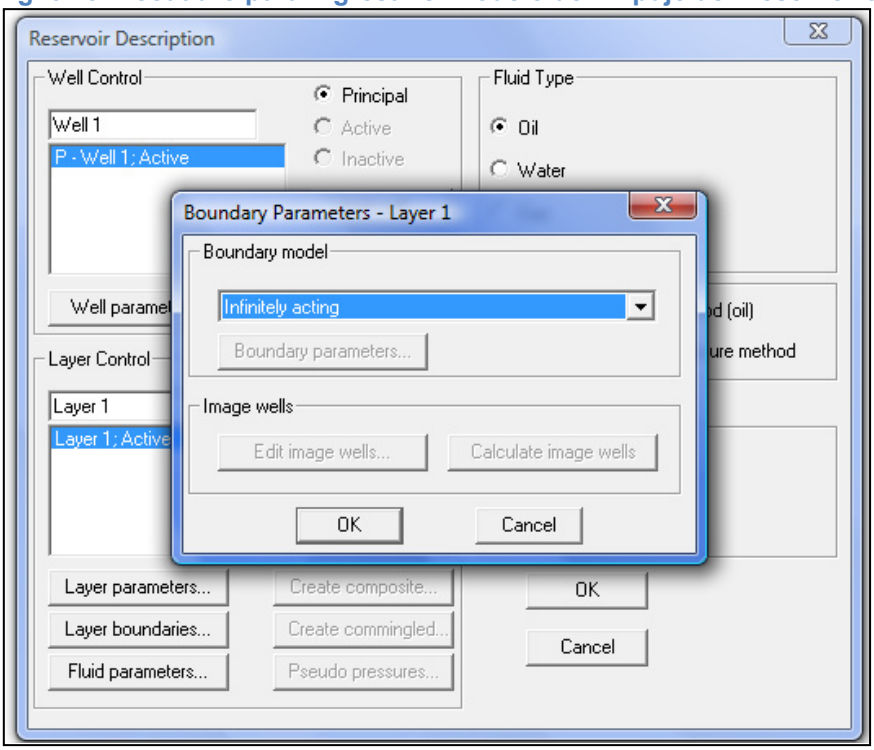
8. En la opción “LAYER PARAMETERS”, ingresamos los datos del “FORMATION THICKNESS” (colocamos el espesor total de la formación 46 ft.),” POROSITY” (0.17),” LAYER PRESSURE” (colocamos el valor de la Pws final, 1484.8 psia) y “LAYER TEMPERATURE” (colocamos el valor más alto de temperatura registrado por el sensor, 231° F).

Fig. 6.12. Recuadro para ingresar los Parámetros del Reservorio



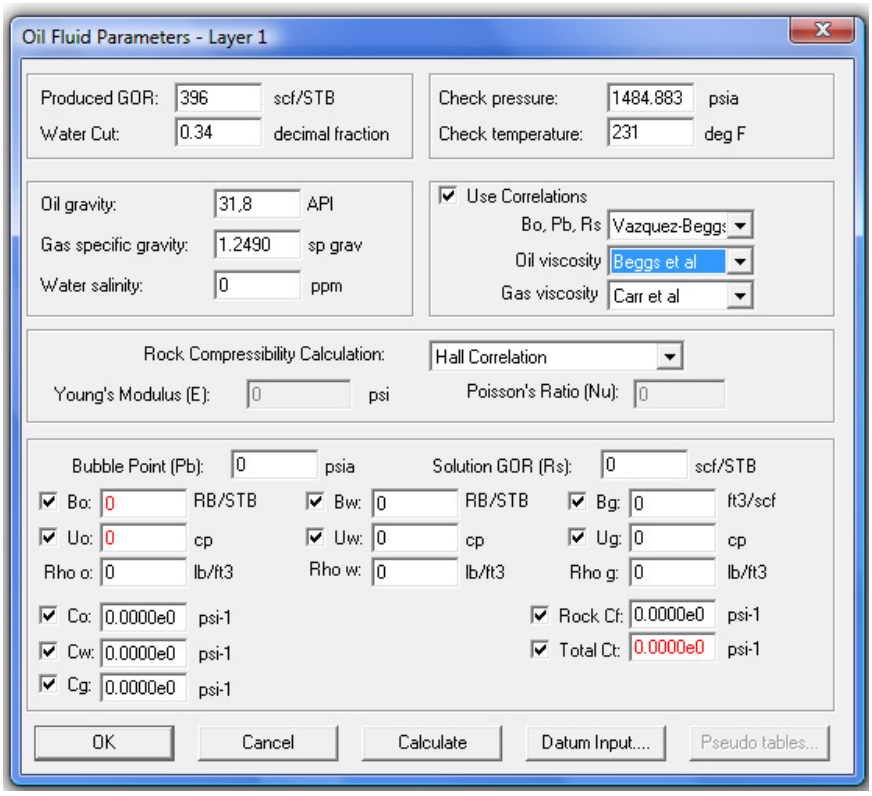
9. En la opción “LAYER BOUNDARIES” se selecciona el modelo de límites observado en la gráfica de la derivada; en este caso “INFINITELY ACTING”.

Fig. 6.13. Recuadro para ingresar el Modelo de Empuje del Reservorio



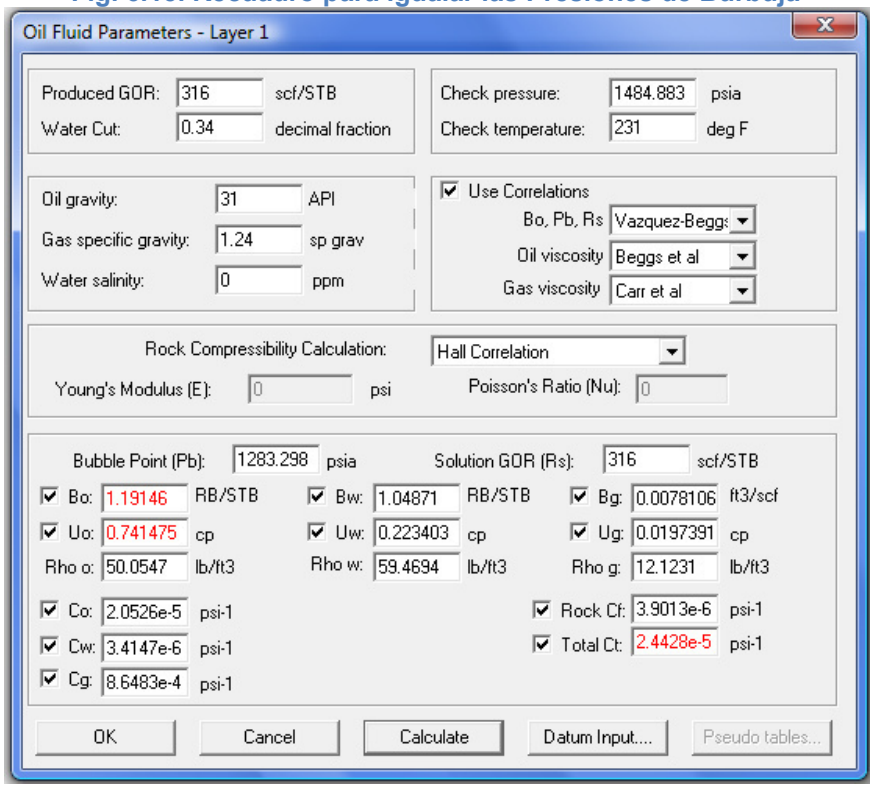
10. En la opción “FLUID PARAMETERS” (datos PVT) ingresamos los datos : del GOR de la prueba que en este caso le corresponde un valor de 396 [scf/STB], ingresamos “WATER CUT “con un valor de 0.43, además se ingresa los datos de “OIL GRAVITY” con un valor de 31,8 API, “GAS SPECIFIC GRAVITY” con un valor de 1.249 y finalmente se escoge una correlación adecuada para el cálculo de la Pb ; la Rs ; Uo y el Bo ; para lo cual usamos en este caso los modelos de “VAZQUEZ BEGGS” y “BEGGS ET AL” y procedemos a calcular.

Fig. 6.14. Recuadro para ingresar los Parámetros de los Fluidos del Reservorio



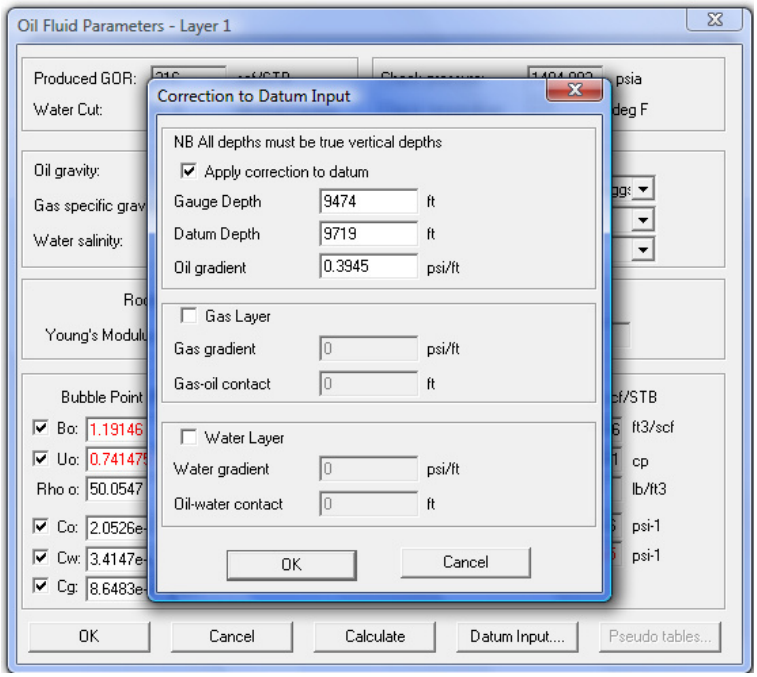
11. Ahora mediante el ajuste principalmente de los valores de “GOR” y “GAS SPECIFIC GRAVITY” hacemos coincidir la presión de burbuja calculada por el software con la Pb conocida de un análisis PVT de laboratorio disponible. En este caso tenemos que la Pb de un análisis PVT realizado es de 1283 psia y con el software se calculó inicialmente una Pb de 1542.5 psia Mediante prueba y error se determinaron los verdaderos valores de GOR = 316 [scf/STB] y de la “GAS SPECIFIC GRAVITY” de 1.24, con los que se ajustó la Pb a 1283 psi.

Fig. 6.15. Recuadro para igualar las Presiones de Burbuja



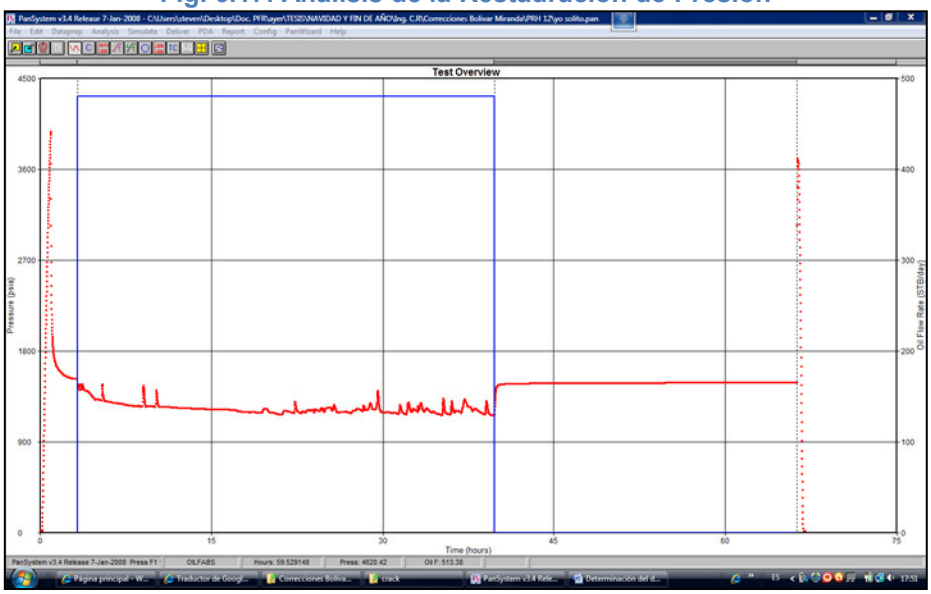
12. Estos valores calculados por el programa están medidos a la profundidad del sensor, pero lo que necesitamos es llevar estos valores a la profundidad de las perforaciones con la finalidad de obtener información más exacta, para ello ingresamos en la opción “DATUM INPUT”, aquí registramos los datos de “GAUGE DEPTH (PROFUNDIDAD DEL SENSOR)”, “DATUM DEPTH (MITAD DE LAS PERFORACIONES)” y el “OIL GRADIENT (GRADIENTE TOTAL).

Fig. 6.16. Recuadro para ingresar los Datos que permitirán obtener los Resultados a la Profundidad de las Perforaciones



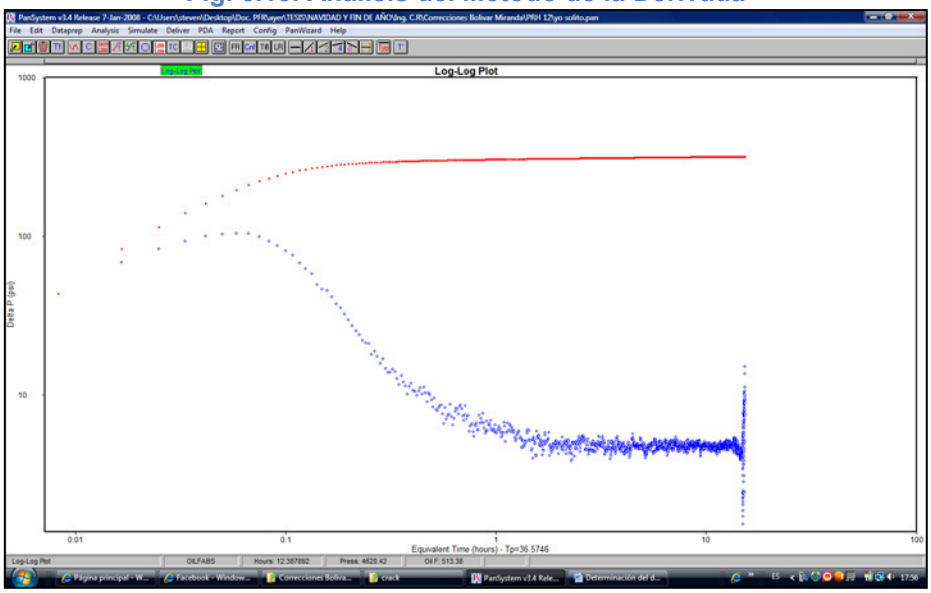
13. Luego nos vamos a la opción “ANALYSIS – PLOT”, donde analizaremos la prueba de restauración de presión.

Fig. 6.17. Análisis de la Restauración de Presión



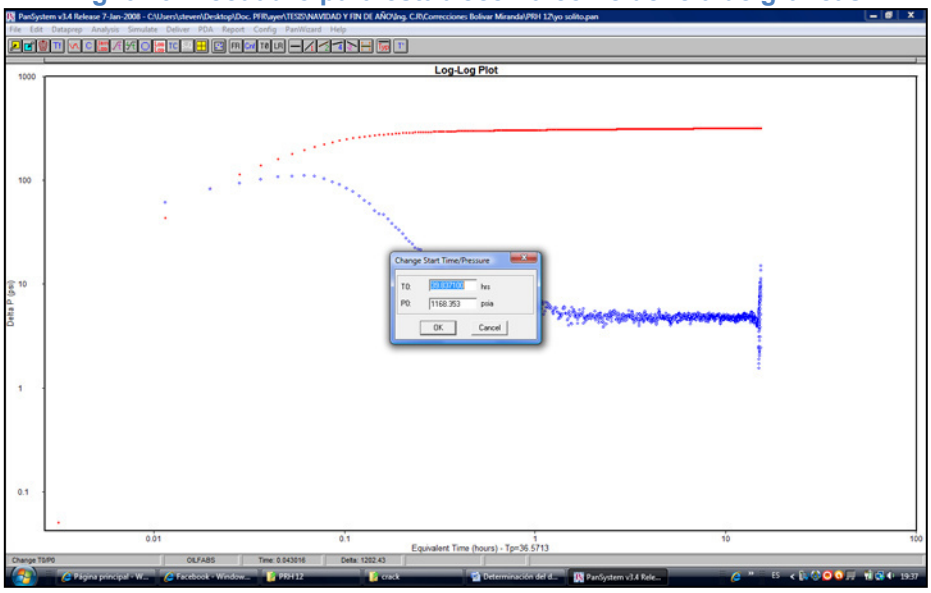
14. Esta parte la analizamos con la opción “LOG – LOG” (para trabajar método de la DERIVADA), de donde obtenemos las siguientes gráficas:

Fig. 6.18. Análisis del Método de la Derivada



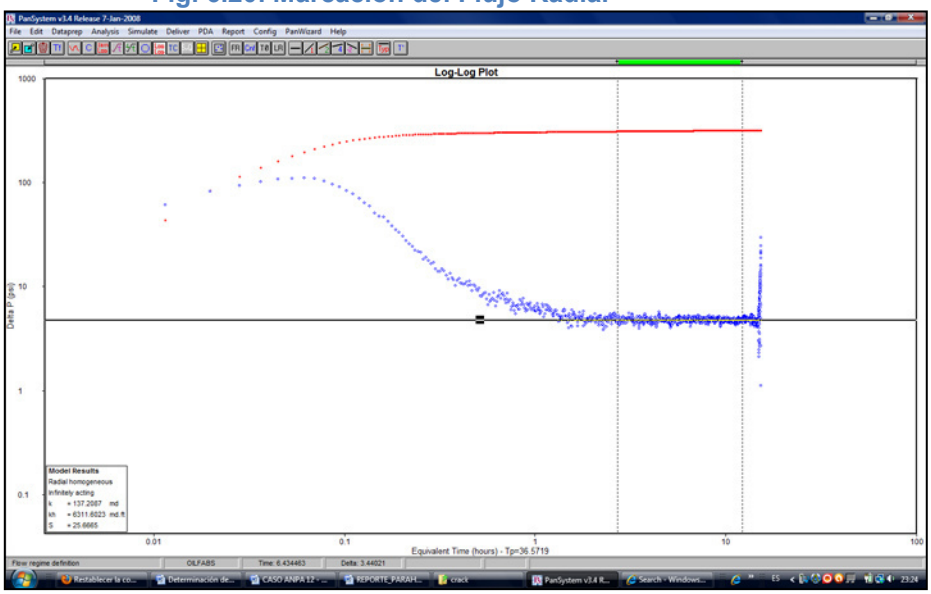
15. Con la opción “TO” y variando esta misma opción tratamos de que coincidan estas dos graficas, inicialmente “TO” tiene un valor de 39.840952, en este caso ambas gráficas coincidieron en su segundo punto para un valor de TO = 39.837100.

Fig. 6.19. Recuadro para establecer la coincidencia de gráficas



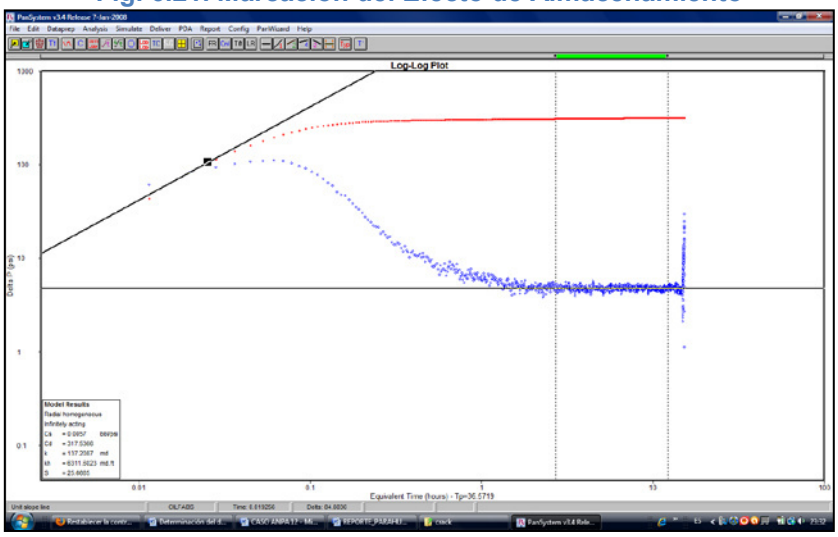
16. Ahora con la opción “FR” marcamos en la gráfica el flujo radial, la cual nos da los siguientes resultados:

Fig. 6.20. Marcación del Flujo Radial



17. Ahora con la opción de pendiente igual a 1 (“/1”) marcamos el efecto de almacenamiento , obteniéndose el siguiente resultado:

Fig. 6.21. Marcación del Efecto de Almacenamiento

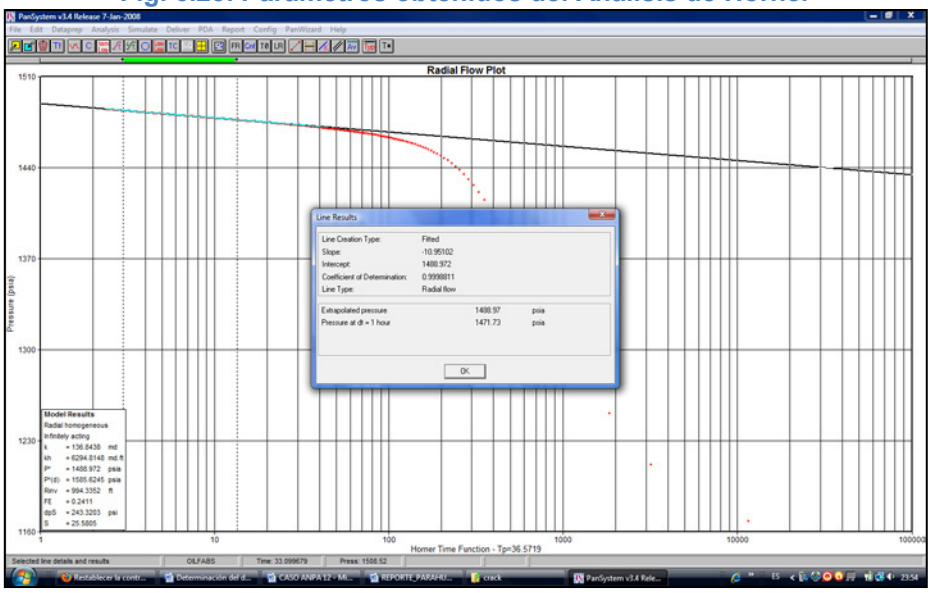


18. Ahora elegimos la opción “SEMI LOG” (para trabajar el método de HORNER), con lo cual se obtiene la siguiente gráfica:

Fig. 6.22. Análisis del Método de Horner

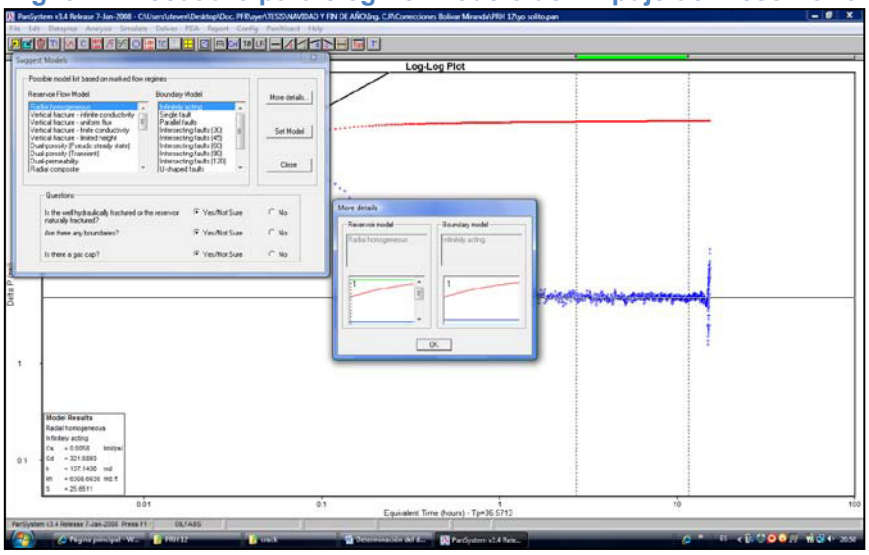
19. Ahora con la opción “LR” de la misma gráfica y obtenemos los siguientes resultados:

Fig. 6.23. Parámetros obtenidos del Análisis de Horner



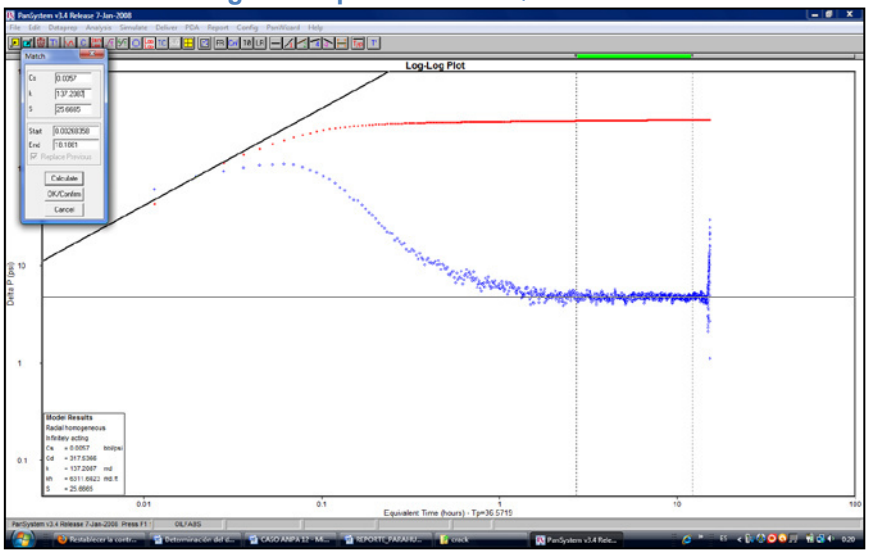
20. Ahora regresamos a la gráfica “LOG – LOG”, elegimos la opción “ANALYSIS – SUGGEST MODEL – SET MODEL (aceptamos)” para elegir el modelo, que en este caso sería el “RADIAL HOMOGENEOUS” e “INFINITELY ACTING” que son los que más se ajustan a nuestro caso resultante de la prueba.

Fig. 6.24. Recuadro para elegir el Modelo de Empuje del Reservorio



21. A continuación se aplica la opción “SIMULATE – QUICK MATCH”, donde vamos a copiar los valores de “Cs”, “k” y “S” obtenidos de la gráfica “LOG-LOG”.

Fig.6.25. Aplicación del Quick Match



22. Elegimos la opción “CALCULATE” y obtendremos gráficas adicionales las cuales intentaremos coincidir en la mayor cantidad de puntos posibles haciendo modificaciones a los valores de “Cs”, “k” y “S”.

Fig. 6.26. Aplicación del Quick Match en la gráfica LOG-LOG

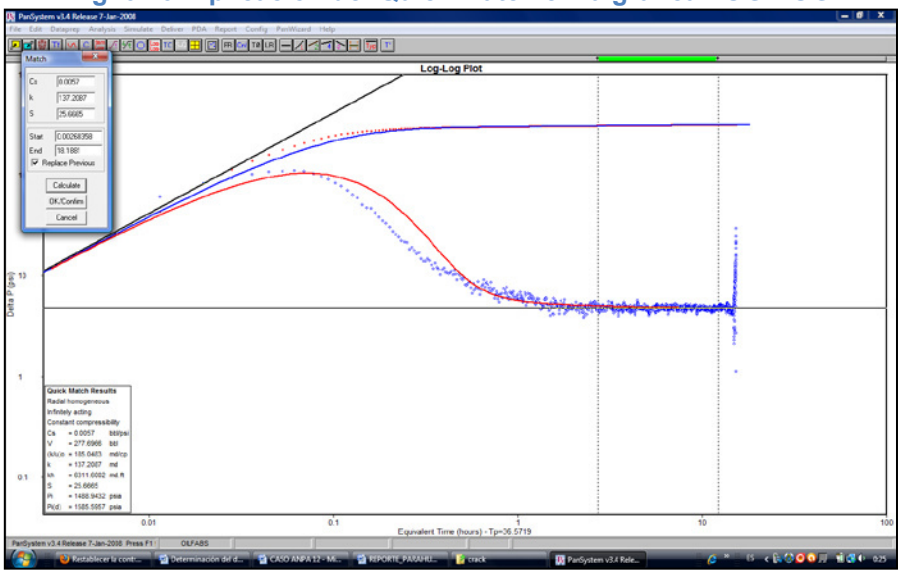
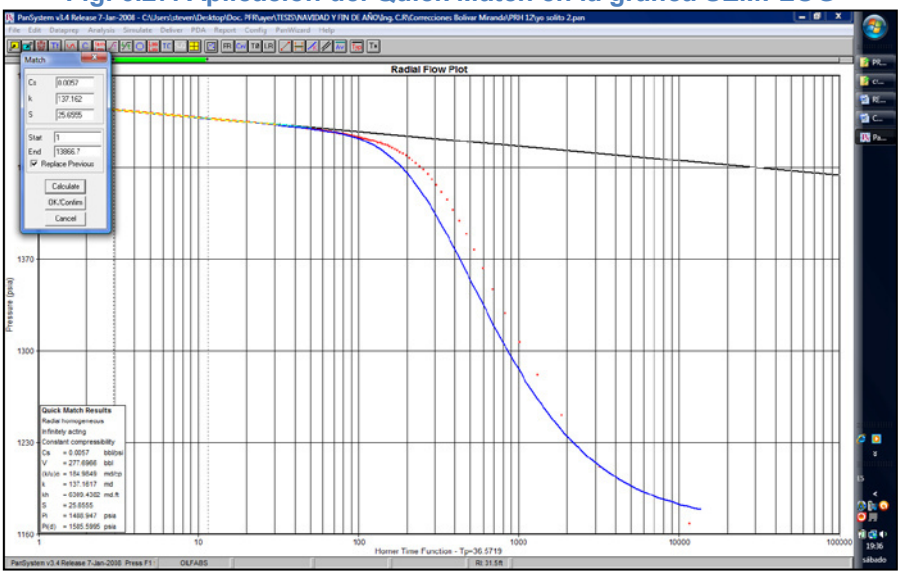


Fig. 6.27. Aplicación del Quick Match en la gráfica SEMI-LOG



23. Haciendo modificaciones a los valores de “Cs”, “k” y “S”, en la gráfica “SEMI LOG” tratamos de hacer coincidencia en la mayor cantidad de puntos, en este caso obtenemos los siguientes resultados.

Fig. 6.28. Mejor coincidencia obtenida con la Aplicación del Quick Match en la gráfica SEMI-LOG

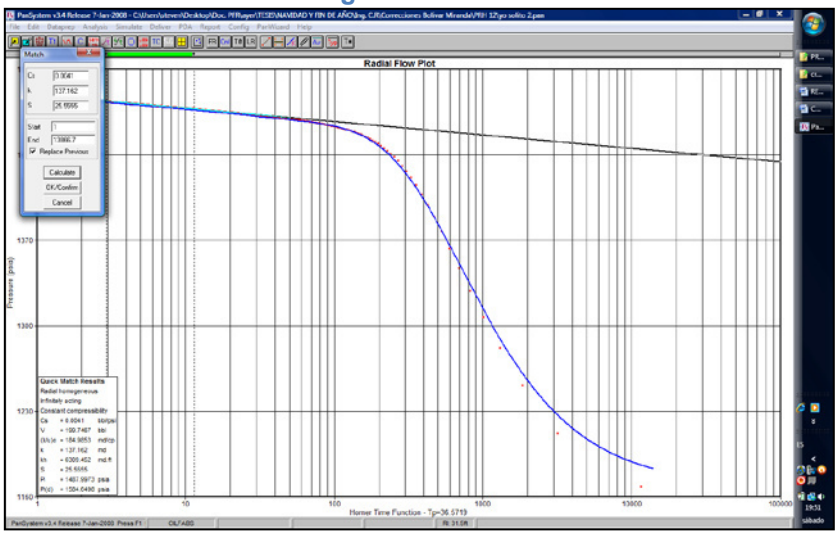
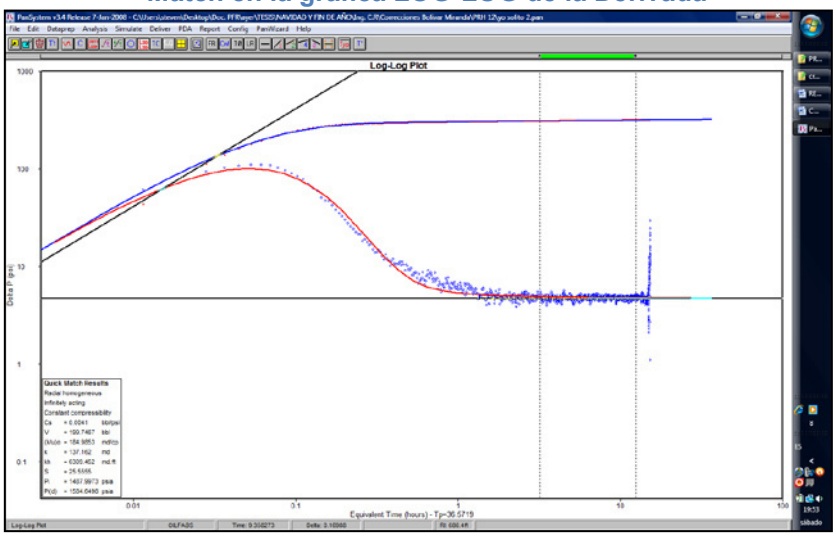
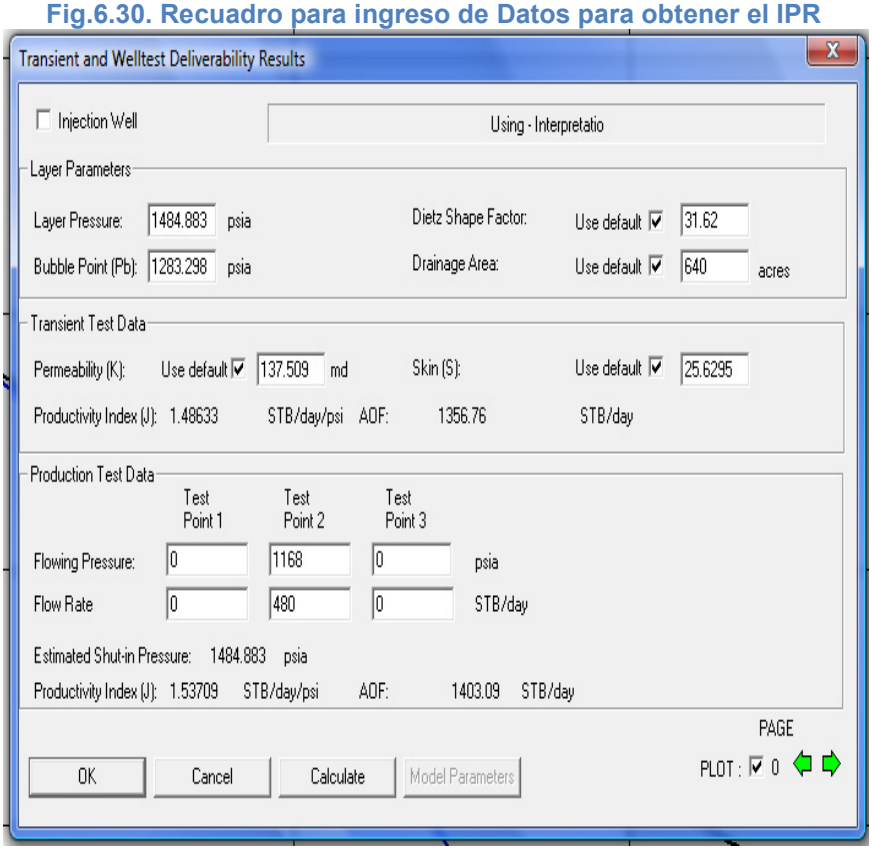


Fig. 6.29. Mejor coincidencia obtenida con la Aplicación del Quick Match en la gráfica LOG-LOG de la Derivada



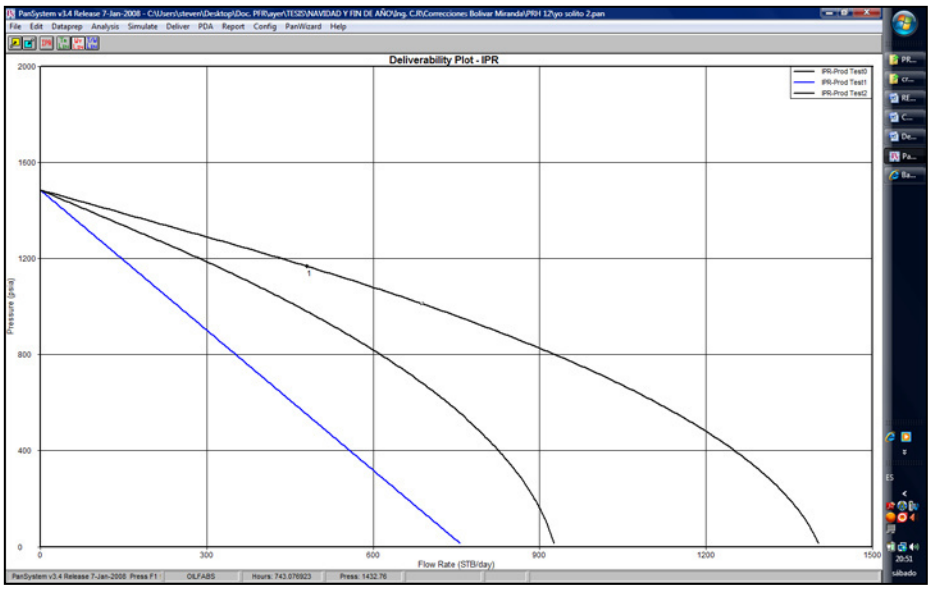
24. A continuación para determinar la gráfica del IPR seleccionamos la opción “DELIVER” e ingresamos los datos de presiones de flujo y rata de flujo para el total de los fluidos, para el agua y para el petróleo.

Fig.6.30. Recuadro para ingreso de Datos para obtener el IPR



25. Finalmente con la opción “WT” obtenemos las 3 graficas del IPR (fluido total ; agua y petróleo) :

Fig. 6.31. Gráfica del IPR para el Total de los Fluidos, para el Agua y para el Petróleo



6.1. Resultados Obtenidos de la Interpretación

1. Resultados de los tiempos de la prueba

Tabla 6.1. Tiempos de Prueba

TIEMPOS	(HORAS)
t1	3.26
t2	39.84
t3	66.29

TIEMPO DE PRODUCCIÓN: 36.58 HORAS

TIEMPO DE CIERRE: 26.45 HORAS

2. Resultados de las Curvas Tipo:

MÉTODO DE HORNER:

Tabla 6.2. Resultados Método de Horner

CARACTERÍSTICA	VALOR
PENDIENTE:	10.95 psi / ciclo
DRAWDOWN:	316.5 psi
K (h =38'):	137 md
S:	25.5
P*:	1488 psi
P @ 1[HR]:	1472 psi

MÉTODO DE DERIVADA:

Tabla 6.3. Resultados Método de la Derivada

CARACTERÍSTICA	VALOR
K (h=38'):	137 md
S:	25.55
Delta Skin:	243.3 psi
T mach:	39.8371 hrs
P match:	1168.353 psi
Cs:	0.0041 bbls/psi
P i (sensor):	1488 psi
P i (mp):	1585 psi
FE:	0.24
R inv.:	994.33 ft

3. Resultados de los Modelos:

Tabla 6.4. Resultados Tipos de Modelos en el Reservorio

MODELOS	TIPO
MODELO DE ALMACENAJE:	CONSTANTE
FLUJO EN EL RESERVORIO:	FLUJO RADIAL
MODELO DEL LÍMITE:	INFINITO

4. Resultados de Productividad:

Tabla 6.5. Resultados Índice de Productividad

INDICE DE PRODUCTIVIDAD	VALOR
J ACTUAL:	1.516 [bbls/d]/psi
J IDEAL:	6.56 [bbls/d]/psi
EF:	0.237
Q MÁX:	1403 [bbls/d]

$$Pwf = 1168.3\, psia$$

$$Pws = 1484.8\, psia$$

$$Drawdown = Pws - Pwf = 316.5\, psia$$

$$Q_t = 480\, bbl/d$$

$$Dps = 0.87 * m * S = 0.87 * 10.95 * 25.55 = 243.40\, psi$$

$$J_{ACT.} = \frac{Q}{(P_{ws} - P_{wf})} = \frac{480}{316.53} \rightarrow J_{ACT.} = 1.516 \left[\frac{bbl/_{d}}{psi}\right]$$

$$J_{IDEAL} = \frac{Q}{\left[\left(P_{ws} - P_{wf}\right) - Dps\right]} = \frac{480}{316.53 - 243.40} \rightarrow J_{ACT.} = 6.56 \left[\frac{bbl/_{d}}{psi}\right]$$

$$EF = \frac{J_{ACT.}}{J_{IDEAL}} = \frac{1.516}{6.56} \rightarrow EF = 0.237$$

CAPITULO 7

7. CASO DEL POZO ANPA-15D

7.1. Ubicación

El pozo ANPA-15D se encuentra en el eje norte de la estructura del campo ANPA con una LONGITUD:$76^{0}42´45´´$ y una LATITUD:$0^{0}6´31´´$

7.2. Antecedentes

El pozo ANPA 15D es un pozo del tipo direccional prácticamente nuevo, cuyas operaciones de completación comenzaron el 5 de Julio del 2010, luego de la cual se procede a disparar la arena “T inferior” el 12 de Julio en los siguientes intervalos:

Tabla 7.1. Intervalos disparados en el Pozo ANPA-15D

INTERVALOS	BASE (fts)	TOPE (fts)	LONGITUD (fts)
1	10098	10087	11
2	10106	10099	7
3	10116	10110	6
4	10134	10121	13

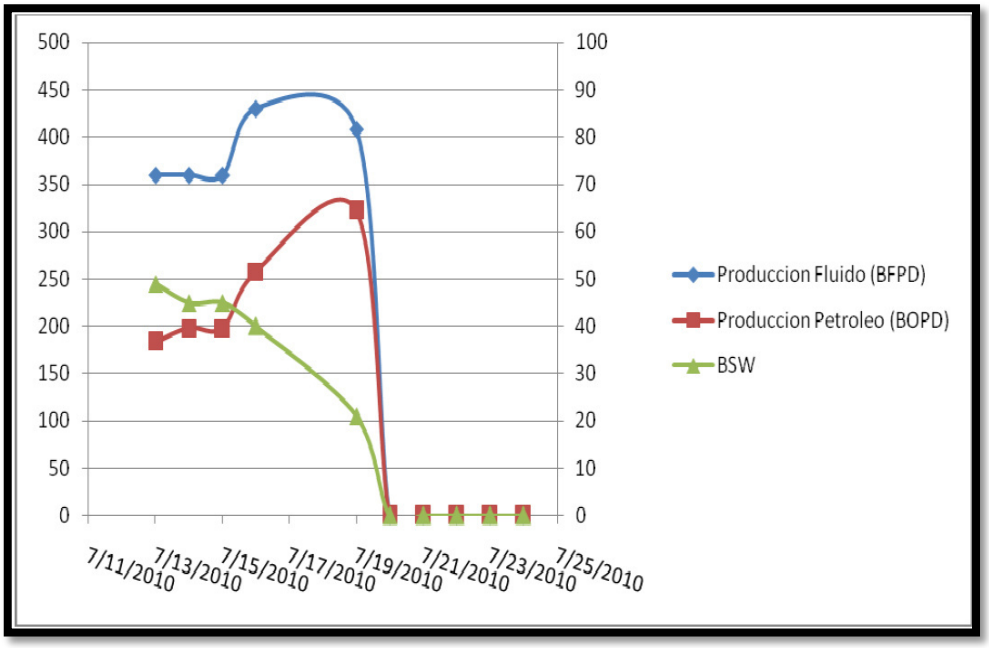
Se inicia la evaluación de producción del pozo el 13 de Julio del 2010 con los siguientes resultados:

Tabla 7.2. Resultados de la Prueba de Producción del Pozo ANPA-15D

Fecha	Producción Fluido	BSW	Producción Petróleo
	BFPD	%	BPPD
7/13/2010	360	49	183.6
7/14/2010	360	45	198
7/15/2010	360	45	198
7/16/2010	360	33	258
7/19/2010	408	21	322.32

El día 20 de julio se para la evaluación y se realiza cambio de fluido del pozo por fluido de control especial para proceder a bajar la B.E.S. sin embargo el pozo toma mucho de este nuevo fluido y posteriormente ocurre un repentino descenso en la producción como se puede observar en el respectivo diagrama de producción (Fig. 7.1.). A partir del 22 de julio no se tiene producción del pozo.

Fig. 7.1. Historial de Producción del Pozo ANPA-15D



Análisis posteriores determinaron que la repentina y drástica caída de la producción del pozo fue debido a que se generó un daño severo en la formación cuyas causas se detallan a continuación.

7.3. Causas del Daño de Formación

Las causas que generaron el daño de formación en la arena Napo "T" inferior del pozo ANPA 15-D son las siguientes:

1. Daño por invasión de fluidos de completación (Agua fresca).
   - ✓ Daño por emulsión por fluidos de completación no compatibles con el reservorio.

- ✓ Daño por hinchamiento de arcillas por el cambio de salinidad.

2. Daño por invasión de sólidos introducidos durante los trabajos de reacondicionamiento.

3. Daño por lodo de perforación.

El daño inducido a la formación Napo “T” inferior es considerado muy alto y de diferente profundidad de invasión por lo que el pozo tuvo que ser cerrado debido a su escaza productividad.

Es entonces que se considera el hecho de que esta productividad podría ser mejorada si es que se puede sobrepasar el daño de formación, lo cual solo se podría lograr si se le aplicara a la formación un “skin frac” mediante la técnica del fracturamiento hidráulico.

Pero antes de poner en práctica este tipo de estimulación, se tenía que proceder a revisar ciertos parámetros que el pozo tenía que cumplir para considerarlo como apto para la ejecución del fracturamiento.

7.4. Parámetros de Selección

Los parámetros tomados en cuenta fueron los siguientes:

1. *Daño:* Esta técnica de estimulación es aplicable solo cuando existe daño de formación de gran profundidad, y mejor aún cuando este es considerado como severo.
2. *Producción:* Necesariamente un trabajo de estimulación de esta envergadura solo tiene razón de ser si el pozo a intervenir presentaba una buena producción antes de que surgiera el daño, lo que abriga la esperanza que una vez concluido los trabajos de estimulación se va a volver a tener una producción muy cercana a la que se tenía ó una superior a esta en el peor y en el mejor de los casos respectivamente. Además también se debe considerar el volumen de petróleo INSITU.
3. *Permeabilidad:* Tiene que estar en los rango de 0,1md a 1md para ejecutar una fractura larga (>100ft) y de 1md a 10md para ejecutar una fractura corta (≤100ft).
4. *Condición del cemento:* Tiene haber una buena cementación entre el casing y la pared del pozo.
5. *Litología:* Presencia de buenas barreras naturales tanto sobre como debajo de la zona de interés.

6. *Completación de pozo:* Se debe analizar la completación para tener una mejor idea del procedimiento a seguir para la ejecución de la fractura.
7. *Contactos agua/petróleo:* La zona a fracturar no debe poseer este tipo circunstancia.
8. *Porosidad:* Tiene que estar en un rango de 10% a 20% para la ejecución de una fractura larga y de 20% a 25% para la ejecución de una fractura corta.
9. *Análisis del fluido de la formación:* Se debe disponer de este tipo de información para poder elaborar un fluido de tratamiento que sea compatible con el de la formación, ya que si no se tiene en cuenta esto se podría causar más daño a la formación debido al hinchamiento de las arcillas y a la migración de finos principalmente.

7.5. Análisis de los Parámetros

De acuerdo al diagrama de producción que se muestra en la Fig. 7.1 podemos ver que el pozo presentaba antes de la presencia del daño una producción de petróleo diaria bastante aceptable con una media de 210 [BBL/D] cuando la producción de fluido era de 360 [BBL/D].

A continuación se presenta un análisis de los parámetros petrofísicos obtenidos de la zona de interés.

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS PETROFÍSICOS

Tabla 7.3. Parámetros Petrofísicos de la Arena Napo "T" Inferior

ARENA	Ho (fts)	Ø (%)	Sw (%)	Vcl (%)
"T inferior"	>25	14%	18.1	>10

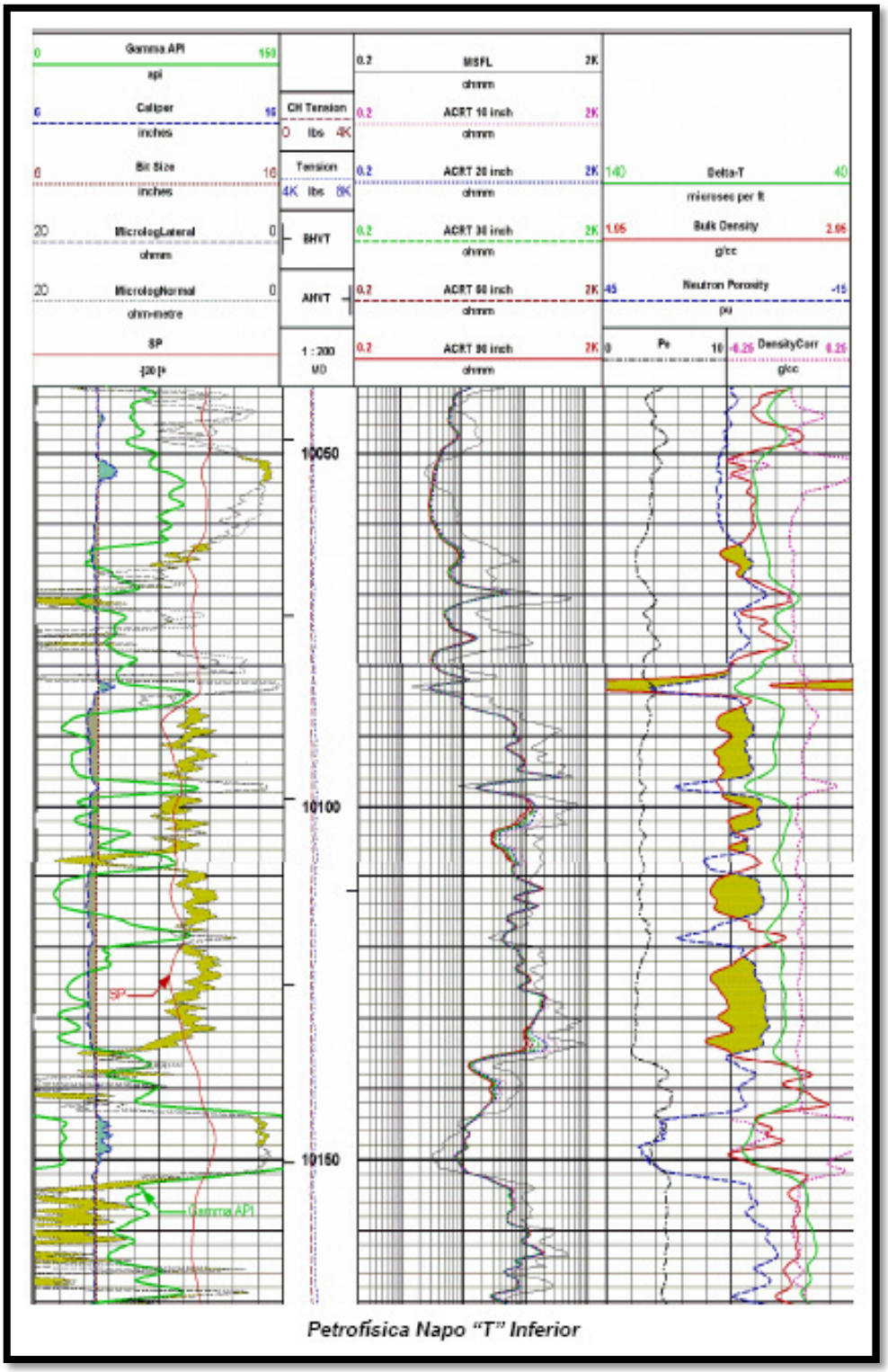
Como se puede observar, la arena Napo “T” Inferior tiene buenas propiedades petrofísicas y no se observa un contacto agua-petróleo evidente en la zona productora.

Adicional en el registro eléctrico se observa que se tiene una muy buena barrera natural en la parte inferior y en la parte superior se tiene una arena sucia y arriba de esta una lutita que ayudarán a frenar el crecimiento vertical de la fractura.

Por lo tanto hay muy buenas posibilidades de contener la fractura en el intervalo de interés.

ANÁLISIS DE LA PETROFÍSICA

Fig. 7.2. Registros de la Petrofísica de la Arena Napo "T"

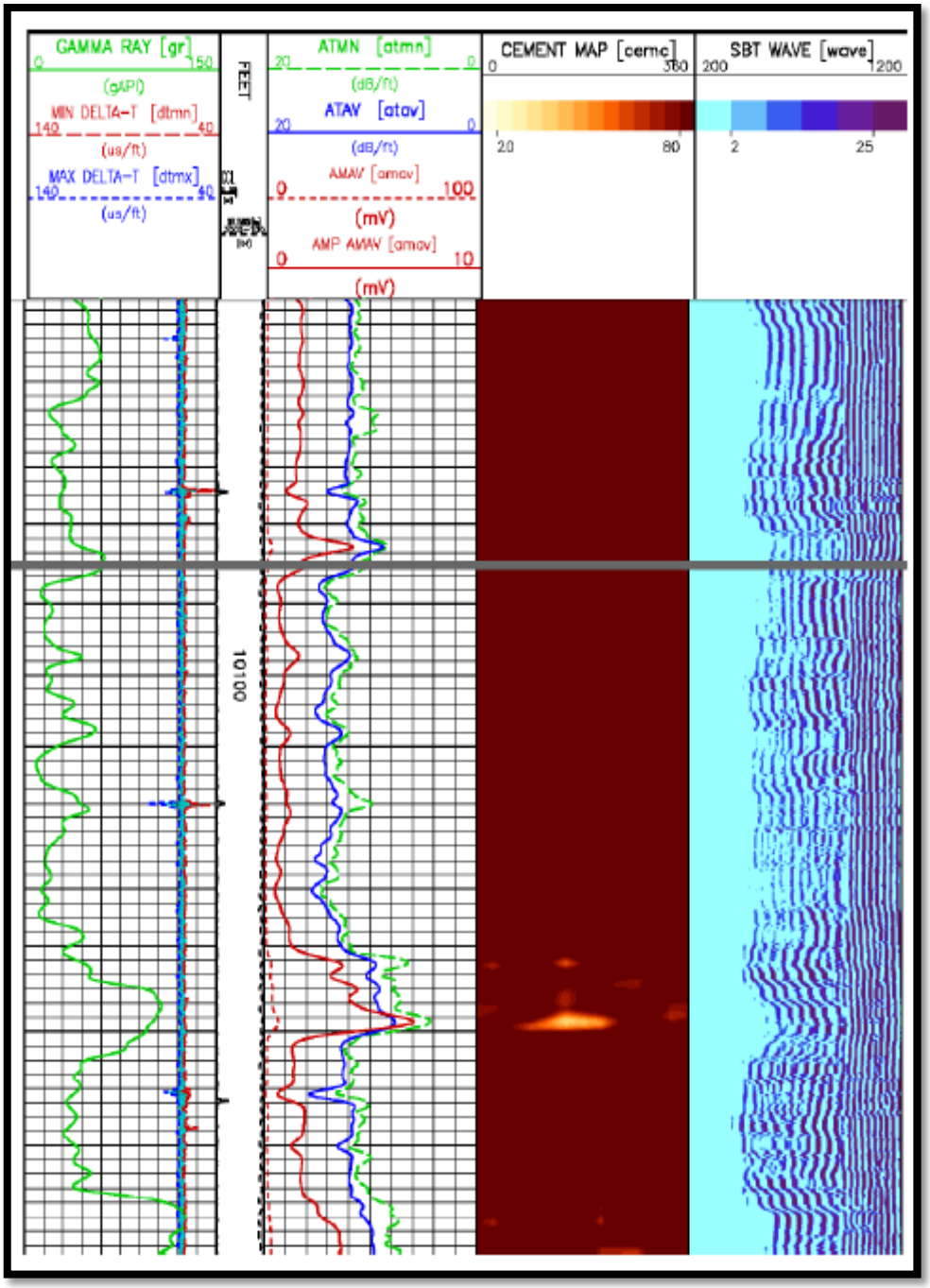


Petrofísica Napo "T" Inferior

ANÁLISIS DE LOS REGISTROS DE CEMENTACIÓN

De acuerdo al registro de cementación se tiene buen cemento tanto arriba y abajo del intervalo.

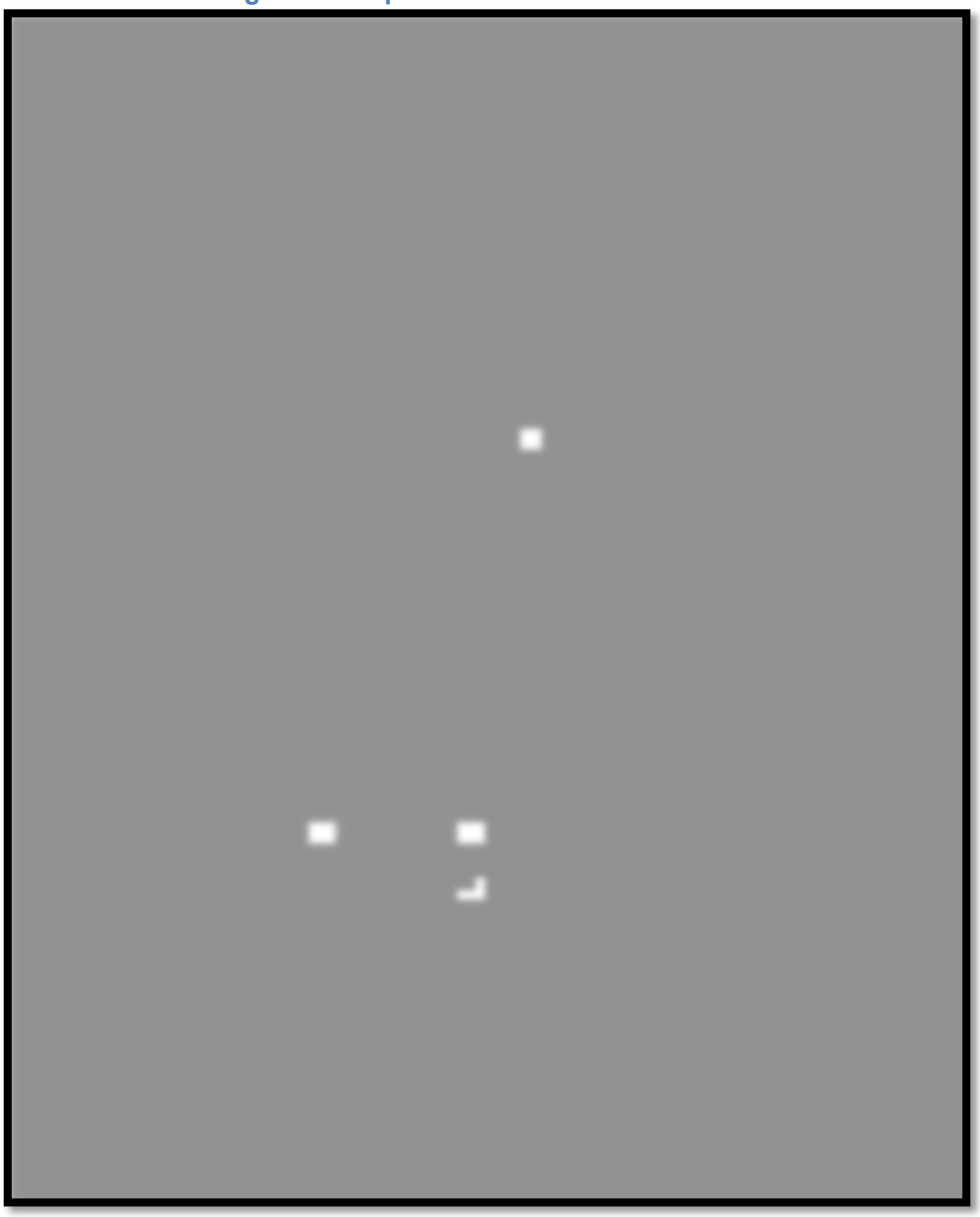
Fig. 7.3. Registros de Cementación de la Arena Napo "T"



ÁNALISIS DE LA COMPLETACIÓN DEL POZO

El análisis de la completación del pozo ayudó a establecer que antes de proceder a ejecutar el fracturamiento se tendría primero que aislar la zona “U inferior”, para que esta no se vea alterada con el fluido de fracturamiento que se iba a inyectar en la arena “T inferior”.

Fig. 7.4. Completación del Pozo ANPA-15D



PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Los datos de los fluidos del reservorio que se usaron se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 7.4 Propiedades de los Fluidos del Pozo ANPA-15D

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL GAS:	1.249
FACTOR VOLUMÉTRICO:	1.301 [BY/BN]
VISCOSIDAD :	0.597 [CP]
Sw:	17%
So:	83%
GOR:	396

PROPIEDADES DEL RESERVORIO

Los datos del reservorio que se usaron se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 7.5 Propiedades del Reservorio

PROPIEDADES DEL RESERVORIO	
ESPESOR TOTAL (h):	52 [ft]
ESPESOR DISPARADO (hw):	35[ft]
RADIO DEL POZO :	0.29 [ft]
POROSIDAD:	14%
COMPRESIBILIDAD TOTAL:	2.75E-5 [psi-1]
PRESIÓN DE RESERVORIO:	1100 [psi]
TEMPERATURA DE RESERVORIO:	220 [F]
GRADIENTE DE FRACTURA:	0.55 [psi/ft]
MODULO DE YOUNG:	3.5 - 4.5 [Mpsi]
PERMEABILIDAD:	200 [md] - 1 [D]
API DEL PETROLEO:	28 -32 [API]
VISCOSIDAD DEL PETROLEO:	1.7 [cp]

7.6. Resultado y Determinación luego del Análisis de los Parámetros de Selección

Luego de revisar y analizar la información disponible, se pudo concluir que el pozo ANPA-15D puede incrementar considerablemente su producción mediante skin frac de los intervalos [10,087' – 10,098'] (11'); [10,099' – 10,106'] (7'); [10,110' – 10,116'] (6'); [10,121' – 10,134'] (13') en la arenisca "T" Inferior.

Los principales objetivos del Skin Frac serían:

- Sobrepasar el alto daño del pozo.
- Minimizar el drawdown de producción para así evitar la migración de finos o posible producción de material de apuntalante.
- Reactivar la producción del pozo ANPA-15D debido a que este se encontraba cerrado.

7.7. Diseño de Fractura

El proceso de diseño de una fractura consiste en dos puntos bien específicos:

1. Un análisis sobre las propiedades de los fluidos y de la roca reservorio, cuyos resultados servirán para luego proceder a

desarrollar un fluido especial, el cual se inyectará al pozo como primer paso de todo el proceso de fractura, este fluido especial ayudará a contrarrestar cualquier desequilibrio que pudiera existir en la formación cuando el fluido de fracturamiento haga contacto con la roca reservorio, cabe recalcar que este fluido de fracturamiento también se lo elabora en base al análisis de las propiedades de los fluidos y de la roca reservorio.

2. El segundo punto consiste en ingresar todos los datos del pozo, de los fluidos y de la roca reservorio en un sistema computacional llamado Frac CADE, el cual es un simulador que nos ayudará a predecir ciertos parámetros de la fractura tales como su longitud, altura y ancho, así también como el respectivo programa de bombeo del fluido fracturante y apuntalante.

En el caso del pozo ANPA-15D tenemos lo siguiente:

7.7.1. Preflujo ONE STEP GP y Fluido Fracturante YF130 HTD

En el campo ANPA en la formación “T” Inferior se tiene un alto contenido de arcillas >10% (Caolinita) por lo tanto es recomendable antes de realizar el fracturamiento hidráulico bombear One STEP GP, el cuál es un sistema de ácido

gelificado que permite controlar permanentemente la migración de finos en formaciones areniscas que presentan este tipo de mecanismo de daño y tengan arcillas sensibles. Este fluido es bombeado antes del fracturamiento y debe permanecer en remojo en la formación por lo menos durante 2 horas.

Beneficios:

1. Control de migración de finos
2. Remoción de lodo de perforación
3. Estabilizador de arcillas
4. Penetración más profunda
5. Probabilidad de precipitación reducida

Además, según el análisis respectivo se propone utilizar el sistema YF130HTD como fluido de fractura, con la finalidad de mejorar la eficiencia hidráulica de la fractura, lo cual llevaría a obtener la geometría de fractura necesaria para obtener el incremento de producción deseado.

Para el sistema YF130HTD las letras YF quieren decir que se trata de un fluido activado, la serie 100 significa que se está

utilizando un gel lineal basado en “GUAR”, con una carga de polímero equivalente a 30 gal/1000 gal. Las letras HTD (High Temperature Delayed) significan que el fluido es retardado y para alta temperatura.

7.7.2. Simulador de Fractura Hidráulica

Con la finalidad de determinar el programa de bombeo se utiliza el simulador Frac CADE, para dicho propósito utilizamos información de registros eléctricos y propiedades mecánicas de roca promedias para el tipo de roca encontrada.

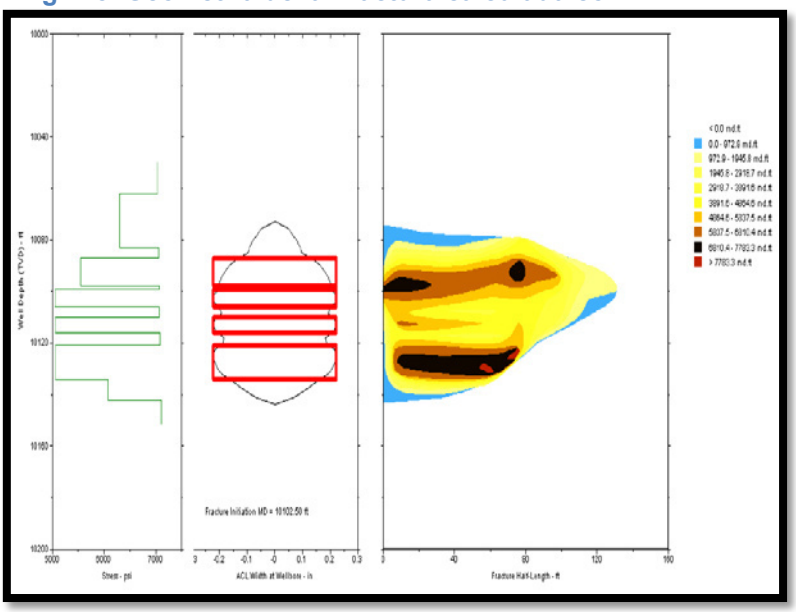
El simulador indica los siguientes resultados, luego de la utilización de los datos disponibles al momento:

Tabla 7.6. Resultados de la Simulación de la Fractura

Propped Fracture Half-Length	142.5 ft
EOJ Hyd Height at Well	70.8. ft
Average Propped Width	0.210 in
Net Pressure	2023 psi
Efficiency	0.173
Effective Conductivity	5572 md.ft
Effective Fcd	0.2
Max Surface Pressure	5922 psi

En resumen, se estaría logrando una longitud media apuntalada de 142 pies, con una altura de 70.8 pies y un ancho de fractura de aproximadamente 0.210 pulgadas. La gráfica siguiente muestra la geometría de la fractura, largo, ancho y altura de la misma. Adicionalmente se muestra la concentración de apuntalante, medido en libras por pie cuadrado a lo largo del área fracturada. A la izquierda se mira el contraste de esfuerzos y al medio se ve el ancho de la fractura.

Fig. 7.5. Geometría de la Fractura calculada con FRAC CADE



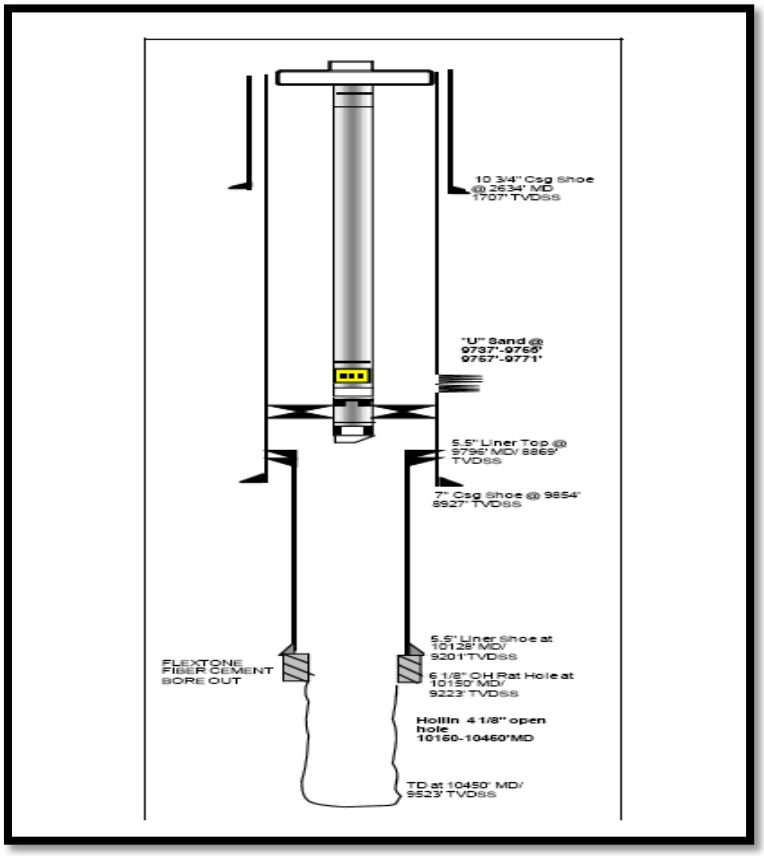
Además el simulador nos indica que el correspondiente programa de bombeo para lograr esta geometría, necesita un caudal de bombeo de 18 BPM y el bombeo de 37000 lb de apuntalante Carbolite 20-40

7.8. Programa de Work-Over y Procedimiento para Fracturamiento Hidráulico

El procedimiento que se llevó a cabo para la ejecución del fracturamiento del pozo ANPA-15D se detalla a continuación:

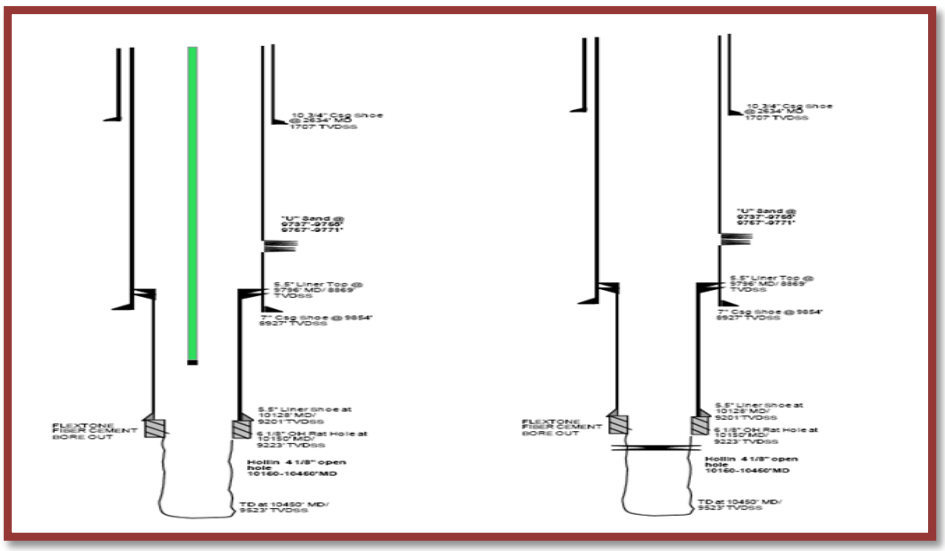
1. Se movilizó torre de reacondicionamiento a la locación del pozo.
2. Se controló el pozo con salmuera KCL4% proporcionado por SLB WS.
3. Se desarmó el cabezal de pozo, se armó BOP y se probó.
4. Se sacó completación actual del pozo.

Fig. 7.6. Representación de la Completación del Pozo



5. Se bajó sarta de limpieza (broca y scrapper), y se acondicionó casing de 7” hasta los 10,200’.

Fig. 7.7. Representación de la Sarta de Limpieza y el Acondicionamiento del Pozo

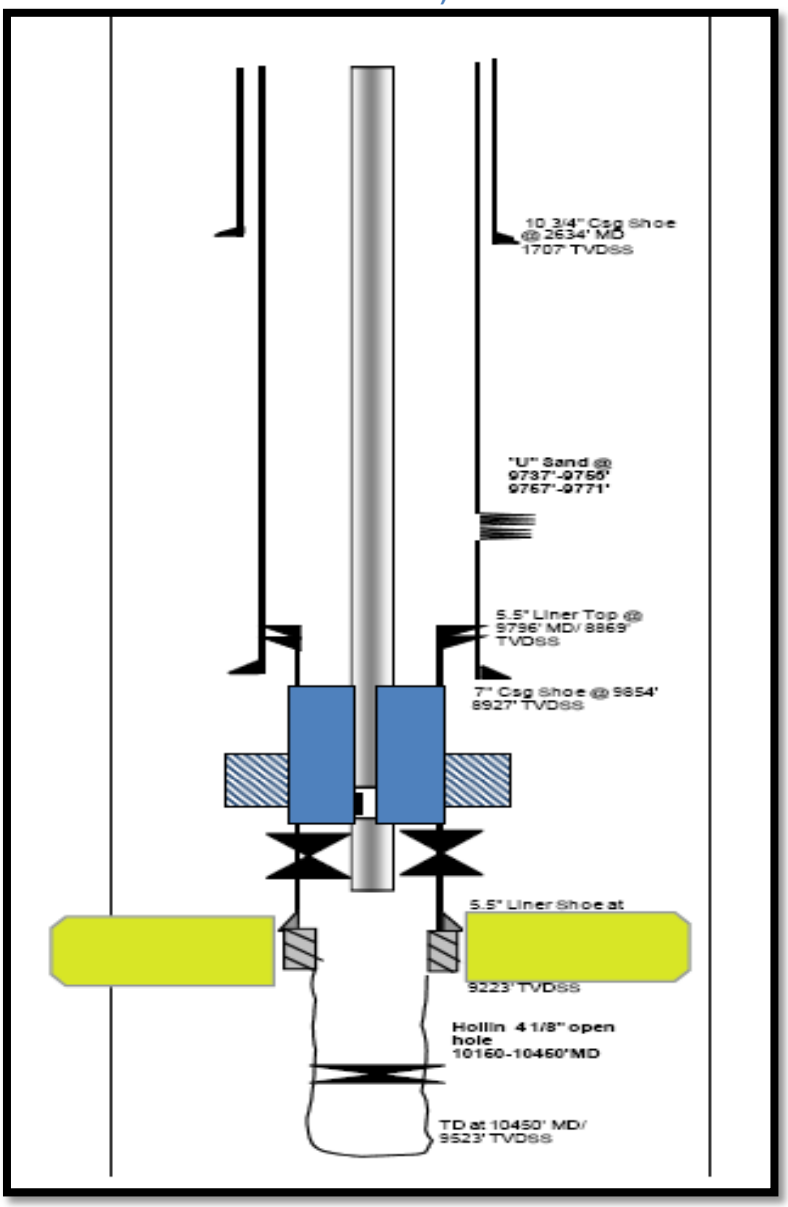


6. Se bajó sarta de fracturamiento, probando con 3.500 psi cada 2.000 pies.
7. Se asentó packer a 9,950’
8. Con Slick Line se recuperó standing valve.
9. Se armó equipo de Well Services para fracturamiento hidráulico.

   NOTA: El taladro suministró un estimado de 1000 bbls de agua fresca para realizar la mezcla de los fluidos de tratamiento.
10. Se realizó prueba de líneas de Schlumberger con 9,500 psi contra válvula de tapón en cabezal de pozo.
11. Se Realizó cambio de fluido y se colocó gel viscoso en la zona U Inferior.

12. Se bombeó 3800 gal de OneSTEP @ 16 bpm y se dejó en remojo a la formación por 2 horas.

Fig.7.8. Representación de la Sarta de Fracturamiento, la Píldora Aisladora en la Zona "U" y el ONE STEP en la Zona a Fracturar ("T" Inferior)



13. Se realizó operación de fracturamiento hidráulico, con la siguiente secuencia:

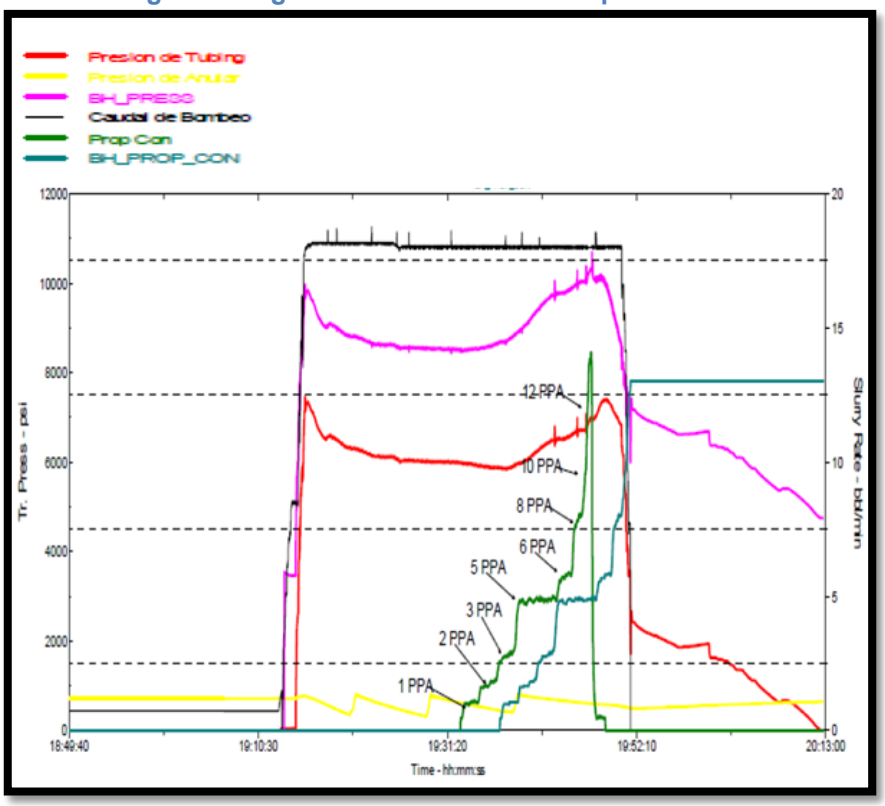
Tabla 7.7. Programa de Bombeo de los Fluidos al Pozo

Section 1: As Measured Pump Schedule

As Measured Pump Schedule

Stg #	Stage Name	Slurry Volume (bbl)	Slurry Rate (bbl/min)	Pump Time (min)	Fluid Name	Fluid Volume (gal)	Proppant Name	Max Prop Conc (PPA)	Prop Conc (PPA)	Prop Mass (lb)
1	PAD	333.3	17.1	19.5	YF130.1HTD	13989	None	0	0.0	23
2	1.0 PPA	34.8	18.0	1.9	YF130.1HTD	1403	CarboLite 20	1.2	1.0	1342
3	2.0 PPA	36.3	18.0	2.0	YF130.1HTD	1418	CarboLite 20	2.0	1.7	2394
4	3.0 PPA	37.7	18.1	2.1	YF130.1HTD	1414	CarboLite 20	3.7	2.7	3880
5	4.0 PPA	39.2	17.9	2.2	YF130.1HTD	1362	CarboLite 20	4.9	4.7	6463
6	5.0 PPA	40.6	18.1	2.3	YF130.1HTD	1406	CarboLite 20	5.0	4.9	6873
7	6.0 PPA	30.1	18.0	1.7	YF130.1HTD	1014	CarboLite 20	5.9	5.6	5685
8	8.0 PPA	16.1	17.9	0.9	YF130.1HTD	512	CarboLite 20	8.1	7.3	3739
9	10.0 PPA	10.3	18.1	0.6	YF130.1HTD	317	CarboLite 20	9.4	8.3	2621
10	12.0 PPA	11.8	18.2	0.7	YF130.1HTD	328	CarboLite 20	13.9	11.7	3849
11	FLUSH	73.3	4.0	18.4	WF130	3001	None	14.1	0.7	2044

Fig. 7.9. Diagrama de Bombeo del Propante al Pozo

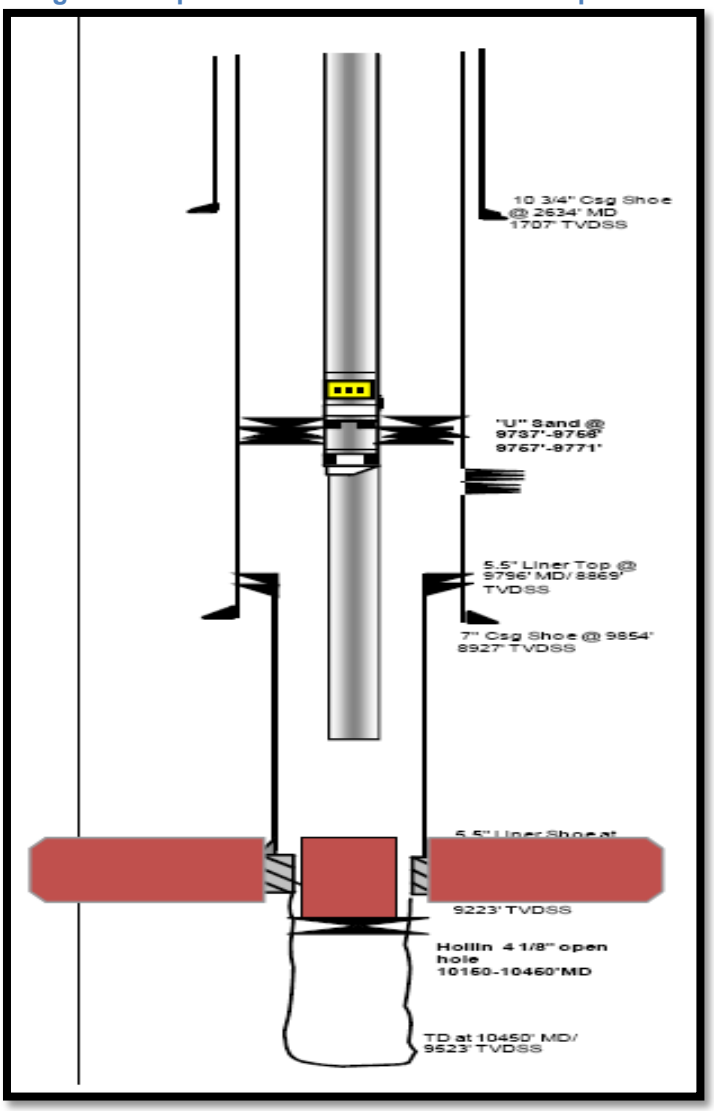


14. Luego se esperó cierre de la fractura liberando presión. (Aproximadamente 1 hora).

15. Se evaluó la cantidad de arena que se tenía en la completación.

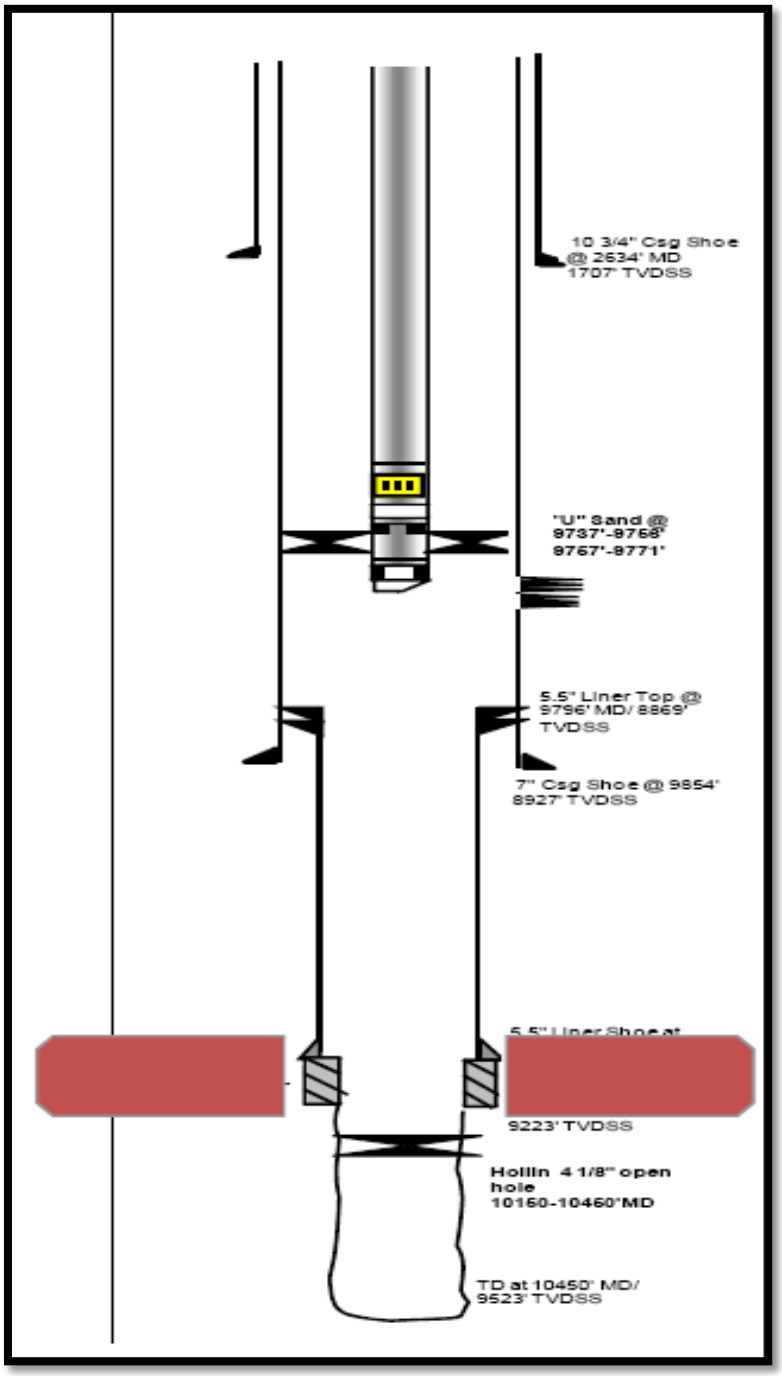
16. Se sacó sarta de fracturamiento y se bajó a limpiar con punta libre. La limpieza se realizó bombeando baches de Gel de fractura, estos baches fueron bombeados a través de la tubería (anular-tubing), y se limpió hasta el fondo de la completación (10250ft), esta operación fue realizada por el taladro, con fluido proporcionado por SLB (KCL 4%).

Fig.7.10. Representación de la Sarta de Limpieza



17. Se bajó sarta de evaluación (bomba tipo Jet)

Fig.7.11. Representación de la Sarta de Evaluación



18. Se recuperó sarta de evaluación

19. Se bajó completación definitiva
20. Se dio por terminadas las operaciones

7.9. Evaluación del Tratamiento

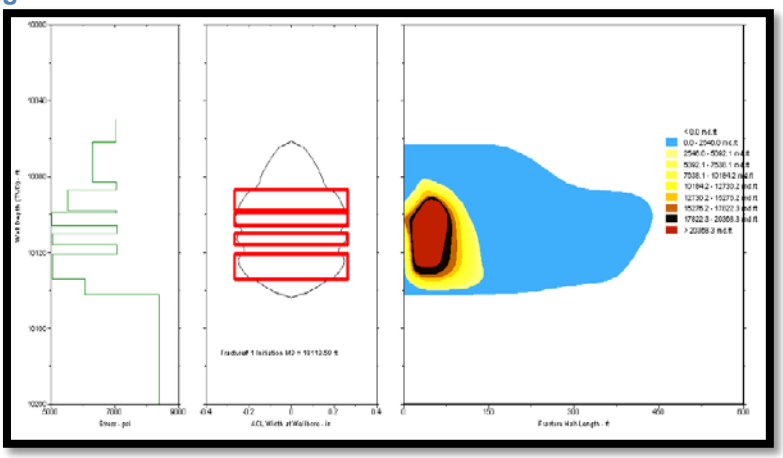
De acuerdo a los datos de presión, caudal, volúmenes de fluido y apuntalante inyectados, se simuló la geometría final de la fractura, obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 7.8. Valores de la Fractura Obtenida del ANPA-15D

Propped Fracture Half-Length	179.6 ft
EOJ Hyd Height at Well	81,9. ft
Average Propped Width	0.077 in
Net Pressure	1635 psi
Efficiency	0.229
Effective Conductivity	15385 md.ft
Effective Fcd	0.3
Max Surface Pressure	7361 psi

En realidad se logró obtener una fractura con una longitud media apuntalada de 179.6 pies, con una altura de 81.9 pies y un ancho de fractura de aproximadamente 0.077 pulgadas. La gráfica siguiente muestra la geometría de la fractura largo, ancho y altura de la misma, así como también se muestra la concentración del apuntalante, medido en libras por pie cuadrado a lo largo del área fracturada. A la izquierda se mira el contraste de esfuerzos y al medio se ve el ancho de la fractura.

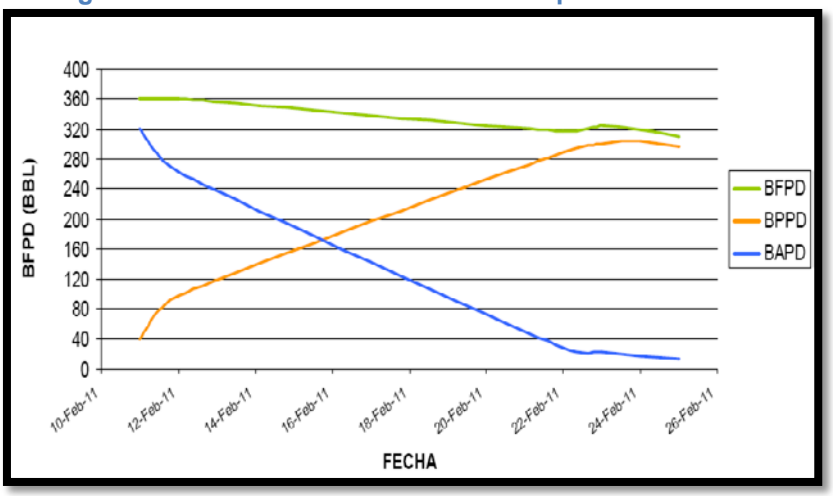
Fig. 7.12. Geometría Real de la Fractura obtenida con FRAC CADE



7.10. Producción Post-Fractura

Los últimos datos de producción del pozo ANPA-15D se pueden observar en el siguiente gráfico:

Fig. 7.13. Producción Post-Fractura del pozo ANPA-15D



La producción del pozo luego del tratamiento de fractura hidráulica esta al momento con un promedio de 331 [BFPD], con un BSW de 4%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

1. Con una fractura de longitud media apuntalada de 179,9 ft, con una altura de 81,9 pies y un ancho de fractura en la cara del pozo de 0.077 pulgadas, la formación Napo “T” Inferior se encuentra produciendo un promedio de 331 [BFPD], incrementando la producción en este mismo número, ya que el pozo debido a su bajo aporte se encontraba cerrado.

2. Debido a las condiciones de presión encontradas durante el trabajo, es posible incrementar la concentración de propante hasta 12 PPA, dejando en la cara de la fractura un ancho de fractura mayor.

3. El tapón realizado antes del fracturamiento hidráulico a la zona U, fue exitoso, ya que se logró mantener una presión constante en el anular durante el trabajo.

RECOMENDACIONES

1. El bajar directamente una completación con BES hubiera ayudado a una pronta evaluación. En casos como estos, donde se trabaja a una presión muy cercana a la presión de burbuja, se recomienda utilizar separadores de gas que permiten manejar adecuadamente las condiciones a las que el pozo produce. Se recomienda en un futuro, especialmente en pozos, donde se tiene una idea clara de la producción el bajar directamente la bomba eléctrica luego del tratamiento de fracturamiento.

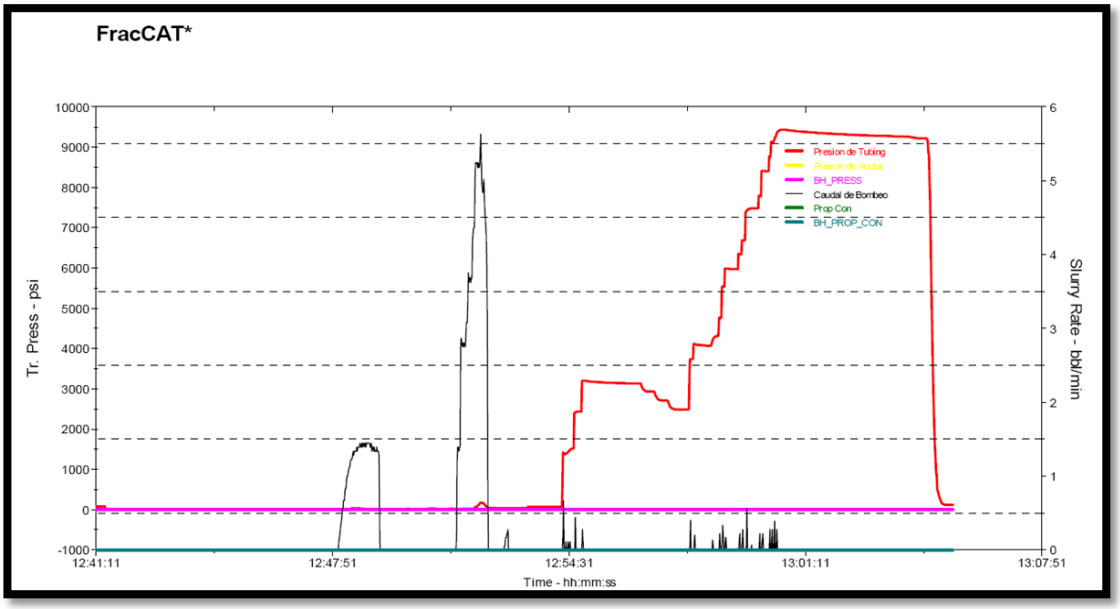
2. Durante todas las operaciones del work-over, ya sea antes o después del tratamiento, se debe controlar el pozo con fluido especial, lo que hará posible el óptimo cuidado del pozo y así se evitará problemas por utilizar fluido no tratado, que fue en sí la razón que originó la presencia del daño en la formación al inicio.

3. En trabajos futuros se recomienda bombear PropNET desde la primera etapa del tratamiento para asegurarse la cobertura de este material en todo el apuntalante bombeado, incrementando la probabilidad de que no retorne apuntalante una vez que el pozo sea puesto en producción.

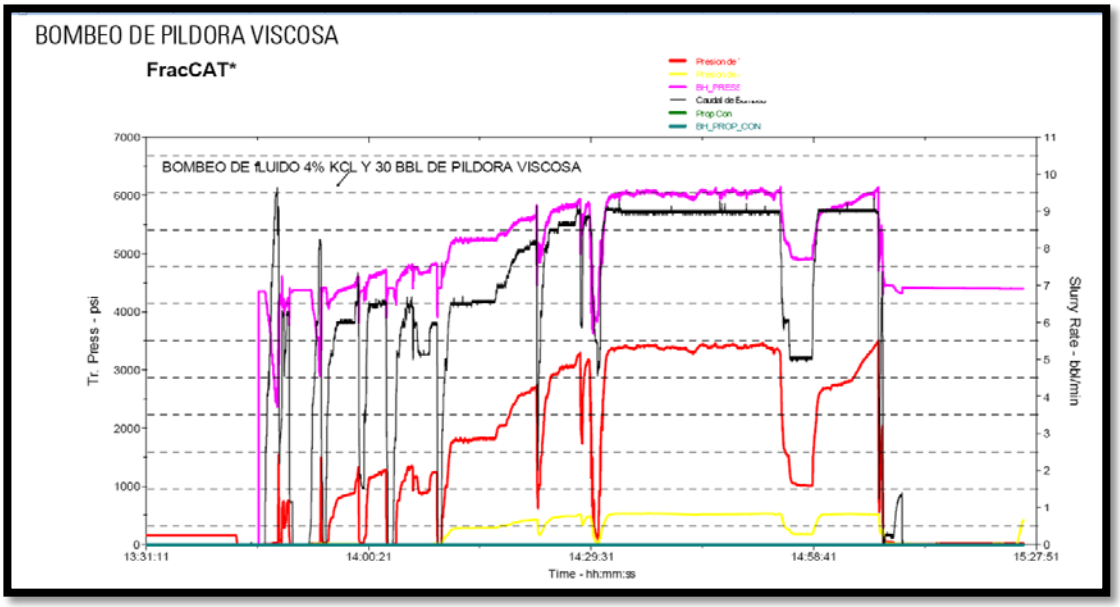
ANEXOS:

ANEXO 1

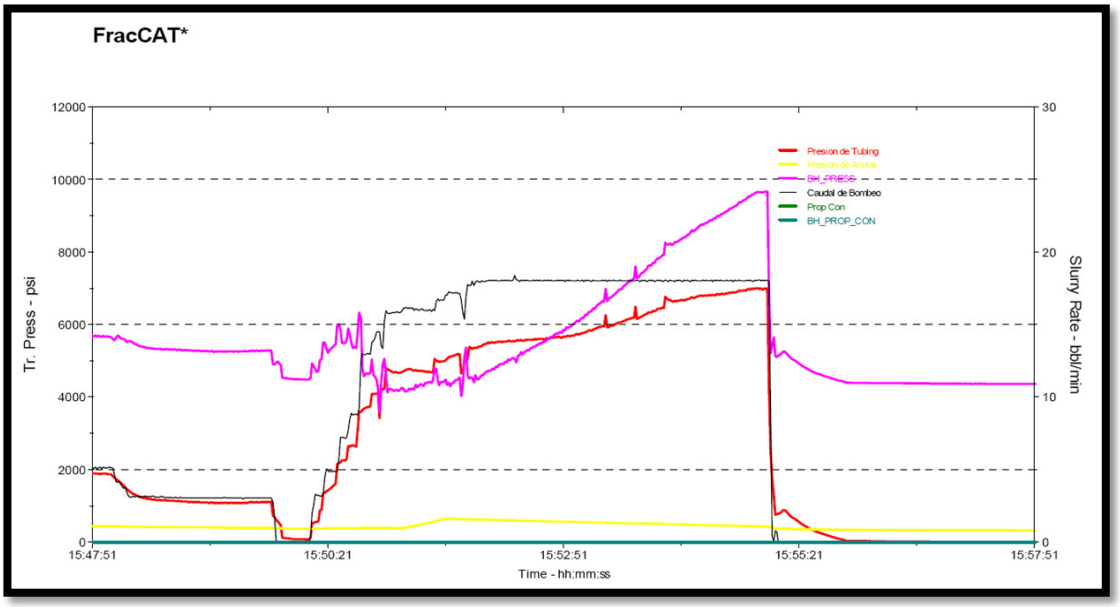
Prueba de Presión:



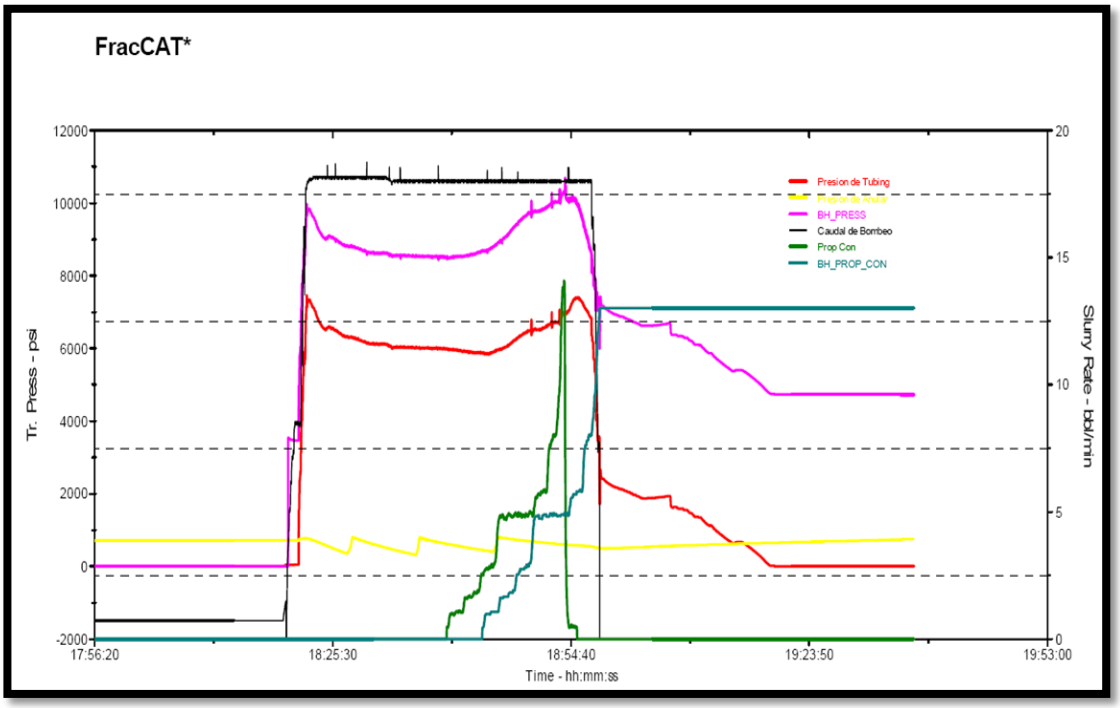
Bombeo de Píldora:



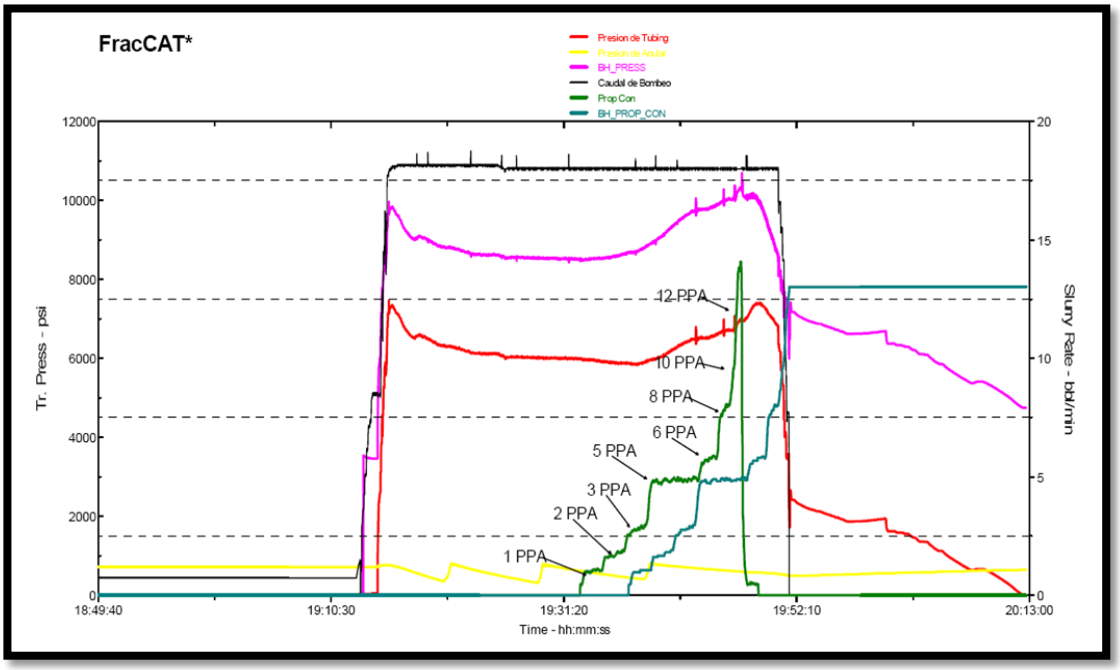
Bombeo del OneSTEP:



Fractura Hidráulica:



Apuntalamiento de Fractura:



ANEXO 2

Reporte del Tratamiento:

Section 1: As Measured Pump Schedule

As Measured Pump Schedule										
Stg #	Stage Name	Slurry Volume (bbl)	Slurry Rate (bbl/min)	Pump Time (min)	Fluid Name	Fluid Volume (gal)	Proppant Name	Max Prop Conc (PPA)	Prop Conc (PPA)	Prop Mass (lb)
1	PAD	333.3	17.1	19.5	YF130.1HTD	13989	None	0	0.0	23
2	1.0 PPA	34.8	18.0	1.9	YF130.1HTD	1403	CarboLite 20	1.2	1.0	1342
3	2.0 PPA	36.3	18.0	2.0	YF130.1HTD	1418	CarboLite 20	2.0	1.7	2394
4	3.0 PPA	37.7	18.1	2.1	YF130.1HTD	1414	CarboLite 20	3.7	2.7	3880
5	4.0 PPA	39.2	17.9	2.2	YF130.1HTD	1362	CarboLite 20	4.9	4.7	6463
6	5.0 PPA	40.6	18.1	2.3	YF130.1HTD	1406	CarboLite 20	5.0	4.9	6873
7	6.0 PPA	30.1	18.0	1.7	YF130.1HTD	1014	CarboLite 20	5.9	5.6	5685
8	8.0 PPA	16.1	17.9	0.9	YF130.1HTD	512	CarboLite 20	8.1	7.3	3739
9	10.0 PPA	10.3	18.1	0.6	YF130.1HTD	317	CarboLite 20	9.4	8.3	2621
10	12.0 PPA	11.8	18.2	0.7	YF130.1HTD	328	CarboLite 20	13.9	11.7	3849
11	FLUSH	73.3	4.0	18.4	WF130	3001	None	14.1	0.7	2044

Stage Pressures & Rates						
Stg #	Stage Name	Average Slurry Rate (bbl/min)	Maximum Slurry Rate (bbl/min)	Average Treating Pressure (psi)	Maximum Treating Pressure (psi)	Minimum Treating Pressure (psi)
1	PAD	17.1	18.8	5752	7462	32
2	1.0 PPA	18.0	18.1	5951	6002	5901
3	2.0 PPA	18.0	18.1	5892	5937	5855
4	3.0 PPA	18.1	18.4	5876	5960	5828
5	4.0 PPA	17.9	18.5	6055	6235	5942
6	5.0 PPA	18.1	18.4	6389	6793	6212
7	6.0 PPA	18.0	18.1	6536	6629	6478
8	8.0 PPA	17.9	18.1	6666	6990	6565
9	10.0 PPA	18.1	18.1	6710	6743	6688
10	12.0 PPA	18.2	18.1	6844	7068	6647
11	FLUSH	4.0	18.5	2941	7411	1021

As Measured Totals					
Slurry (bbl)	Pump Time (min)	Clean Fluid (gal)	Proppant (lb)	Liquid 1 (gal)	Liquid 2 (gal)
663.4	52.2	26162	38913	0.0	0.0

Section 2: Designed Pump Sched. - Ramp

Designed Pump Schedule Ramp									
Stg #	Stage Name	Slurry Volume (bbl)	Pump Rate (bbl/min)	Pump Time (bbl)	Fluid Name	Fluid Volume (gal)	Prop Name	Prop Conc (PPA)	Prop Mass (lb)
1	PAD	333.3	18.0	18.5	YF130.1HTD	14000		0.0	0
2	1.0 PPA	34.8	18.0	1.9	YF130.1HTD	1400	CarboLite 20/40	1.0	1400
3	2.0 PPA	36.3	18.0	2.0	YF130.1HTD	1400	CarboLite 20/40	2.0	2800
4	3.0 PPA	37.7	18.0	2.1	YF130.1HTD	1400	CarboLite 20/40	3.0	4200
5	4.0 PPA	39.2	18.0	2.2	YF130.1HTD	1400	CarboLite 20/40	4.0	5600
6	5.0 PPA	40.6	18.0	2.3	YF130.1HTD	1400	CarboLite 20/40	5.0	7000
7	6.0 PPA	30.1	18.0	1.7	YF130.1HTD	1000	CarboLite 20/40	6.0	6000
8	8.0 PPA	16.1	18.0	0.9	YF130.1HTD	500	CarboLite 20/40	8.0	4000
9	10.0 PPA	10.3	18.0	0.6	YF130.1HTD	300	CarboLite 20/40	10.0	3000
10	12.0 PPA	9.1	18.0	0.5	YF130.1HTD	250	CarboLite 20/40	12.0	3000
11	FLUSH	73.0	18.0	4.1	WF130	3067		0.0	0

Designed Ramp Totals			
Slurry (bbl)	Pump Time (min)	Clean Fluid (gal)	Proppant (lb)
660.4	36.7	26117	37000

Section 3: Proppant Description

Proppant				
Proppant Name	Mesh Size	Spec Gravity	Prop Fric Coeff. Laminar	Prop Fric Coeff. Turbulent
CarboLite 20/40	20/40	3	1	1

Section 4: Perforations

Perforations						
Top MD (ft)	Top TVD (ft)	Bottom MD (ft)	Bottom TVD (ft)	Shot Density (shot/ft)	Number	Diameter (in)
10087.0	10087.0	10098.0	10098.0	5.00	55	0.320
10099.0	10099.0	10106.0	10106.0	5.00	35	0.320
10110.0	10110.0	10116.0	10116.0	5.00	30	0.320
10121.0	10121.0	10134.0	10134.0	5.00	65	0.320

Section 5: Well Description

Deviated Hole: NO
Treating Down: TUBING
Flush Volume to 9840.9 ft is 73.0 bbl

Tubing			
OD (in)	Weight (lb/ft)	ID (in)	Depth (ft)
3.500	13.3	2.764	10016.5

Casing			
OD (in)	Weight (lb/ft)	ID (in)	Depth (ft)
9.625	47.0	8.681	8869.0
7.000	26.0	6.276	10250.0

ANEXO 3

Costos Operacionales:

ESTIMADO DE COSTOS SERVICIOS DE FRACTURA						
SPN	Description	UOM	Qty	Price	Discount	Amount
02-401	Unidad de bombeo viaje de ida	km	40.00	4.51	0.00	180.40
02-402	Viaje de ida de Blender	km	20.00	2.11	0.00	42.20
02-403	Viaje de ida 2 unidades de soporte	km	60.00	2.54	0.00	152.40
02-406	Cargo primeras 8 horas por hhp (unidad de bombeo)	ea	2,500.00	1.96	0.00	4,900.00
02-411	Kilometraje de fractank solo de ida	km	20.00	2.11	0.00	42.20
02-210	Cargo por bombeo fluidos no corrosivos primeros 2000	gal	2,000.00	0.84	0.00	1,680.00
02-211	Cargo por bombeo fluidos no corrosivos 2001 gal en	gal	15,000.00	0.30	0.00	4,500.00
59682001	Lab Technitian, per day	day	2.00	311.08	0.36	199.09
02-430	Grua Hidraulica por Dia	day	2.00	2,156.00	0.00	4,312.00
02-412	Blender primeras 8 horas o fraccion 50 bpm	ea	3.00	1,925.04	0.00	5,775.12
01-320	Fractank de 500 bbl	ea	2.00	1,150.63	0.00	2,301.26
02-424	Sand Silo	ea	1.00	162.96	0.00	162.96
02-422	Unidad Compu-VAN	ea	1.00	1,095.84	0.00	1,095.84
					Field Ticket Total (USD):	25,343.47

SPN	Description	UOM	Qty	Price	Discount	Amount
22018	J-475. Rompedor encapsulado EB CLEAN	LB	50.00	59.90	0.00	2,995.00
22017	J-218. Rompedor de gel	LB	15.00	4.89	0.00	73.35
M275	Microbiocida, per lb	LB	10.00	124.66	0.00	1,246.60
J501	PropPNET	LB	10,500.00	1.50	0.00	15,750.00
32015	F103, EZEFLO* Surfactant (PCE-2004)	GA	90.00	73.60	0.00	6,624.00
J914	YF100HTD	GA	17,640.00	0.52	0.00	9,172.80
23017	W-054. Preventor de emulsion y sludge	GA	30.00	111.26	0.00	3,337.80
32011	OneSTEP	GA	4,000.00	24.50	0.00	98,000.00
S105	S105 Low Density, per lb 16/20	LB	27,800.00	2.87	12.00	70,211.68
					Field Ticket Total (USD):	207,411.23

SIMBOLOGÍA

UTM	Sistema de coordenadas inglés (Universal Transverse Mercator)
BPPD	Barriles de petróleo por día
BFPD	Barriles de fluido por día
BES	Bomba electro-sumergible
BOP	Dispositivo Block Out Preventer
TVD	Profundidad vertical verdadera
API	American Petroleum Institute
BSW	Porcentaje o corte de agua y sedimentos (Basic Sediment and Water)
SCF	Pies cúbicos estándares
STB	Barriles almacenados a condiciones de superficie
Bls	Barriles
BN	Barriles normales
BY	Barriles de yacimiento
BPM	Barriles por minuto
GOR	Relación gas-petróleo *(SCF/STB)*
Cp	Centipoises
D	Darcy
Md	Milidarcy
PVT	Análisis presión, volumen y temperatura

MMBls	Millones de barriles
IP	Índice de productividad
$\mathbf{q}$	Caudal *(Bls/día)*
$\mathbf{K}$	Constante de Proporcionalidad *(darcys)*
$\mathbf{A}$	Área (pie^2)
$\Delta\mathbf{p}$	Presión diferencial *(psi)*
$\mathbf{L}$	Longitud *(pie)*
$\boldsymbol{\mu}$	Viscosidad del fluido *(cp)*
$\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \mathbf{s}}$	Gradiente de presión en la dirección s
$\mathbf{g}$	Aceleración gravitacional (m/seg^2)
$\boldsymbol{\rho}$	Densidad del fluido (gr/cm^3)
$\mathbf{V_t}$	Volumen total de la roca
$\mathbf{V_p}$	Volumen poroso total de la roca
$\mathbf{V_o}$	Volumen ocupado por la fase petróleo
$\mathbf{V_w}$	Volumen ocupado por la fase agua
$\mathbf{V_g}$	Volumen ocupado por la fase gas
$\mathbf{V_{sh}}$	Volumen de arcilla presente en la formación
$\boldsymbol{\phi}$	Porosidad *(%)*
$\mathbf{k}$	Permeabilidad absoluta *(mili darcys)*
$\mathbf{k_e}$	Permeabilidad efectiva (md)

$\mathbf{k_r}$	Permeabilidad relativa (adimensional)
$\mathbf{S_o}$	Saturación de petróleo
$\mathbf{S_w}$	Saturación de agua
$\mathbf{S_g}$	Saturación de gas
$\mathbf{B_o}$	Factor volumétrico de petróleo (bls/STB)
$\mathbf{R_s}$	Solubilidad (SCF/STB)
$\mathbf{P_b}$	Presión de burbuja (psi)
$\boldsymbol{\sigma}$	Esfuerzo, *N/m^2 (Pa)*
$\mathbf{F}$	Fuerza *N (lbf)*
$\Delta\mathbf{l}$	Variación de la longitud
$\mathbf{l}$	Longitud original
$\boldsymbol{\varepsilon_z}$	Deformación unitaria
E	Módulo de Young
$\Delta\mathbf{a}$	Variación de área
$\mathbf{a}$	Área transversal original
$\boldsymbol{\varepsilon_y}$	Deformación transversal
v	Módulo de Poisson
G	Módulo de corte
Ca++	Ión calcio
Fe++	Ión ferroso

CO3Ca	Carbonato de calcio
FeCO3	Carbonato de hierro II
HCl	Cloruro de hidrógeno
HF	Ácido fluorhídrico
CaSO4	Sulfato de calcio *(yeso)*
BaSO4	Sulfato de bario
SrSO4	Sulfato de estroncio
H+	Ión hidrógeno
HCO3-	Bicarbonato
Mg++	Electrolito de magnesio
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
PPA	Libras de apuntalante por galón de gel lineal
$\mathbf{P_{wf}}$	Presión de fondo fluyente
$\mathbf{P_{ws}}$	Presión estática del yacimiento
$\mathbf{t_p}$	Tiempo de flujo o de producción
S	Factor total de daño de formación *(adimensional)*
$\mathbf{C_t}$	Compresibilidad total del sistema (psi^{-1})
$\mathbf{r_w}$	Radio del pozo *(pulg.)*
$\mathbf{t_{pH}}$	Tiempo de producción de Horner
$\mathbf{C_D}$	Coeficiente de almacenamiento del pozo

ht	Espesor total de la formación
$\mathbf{h_w}$	Espesor disparado en la cara de la arena
KCl	Cloruro de potasio
Pulg.	Pulgada
Ft	Pie
Psi	Libras por pulgadas cuadradas
$\mathbf{W_{máx}}$	Ancho máximo de fractura *(pulg.)*
$\bar{\mathbf{W}}$	Ancho promedio de fractura *(pulg.)*
$\mathbf{X_f}$	Longitud de la fractura *(pulg.)*
$\mathbf{h_f}$	Altura de fractura *(ft)*
FG	Gradiente de fractura *(psi/ft)*
$\mathbf{q_i}$	Caudal de inyección
$\mathbf{P_{net}}$	Presión neta de fractura *(psi)*
$\mathbf{P_f}$	Presión de fluido fracturante *(psi)*
$\mathbf{P_c}$	Presión de cierre de fractura *(psi)*
$\boldsymbol{\sigma_c}$	Esfuerzo de cierre de fractura *(psi)*

BIBLIOGRAFÍA

- G. C. Howard, Hydraulic Fracturing, New York, Dallas 1970.
- Freddy H. Escobar Macualo, Ph.D., Análisis Moderno de Presiones de Pozos, Neiva, Huila, 2003.
- Fracturing Engineering Manual, Treament Design, 1998.
- Joel Plaza, Vanesa Cárdenas, Tesis, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- S. Quiroga, Propiedades Físicas de los Fluidos y las Rocas, 3a edición, Octubre 1992.
- Kléber Quiroga. Pruebas, Completaciones y Reacondicionamientos de Pozos Petrolíferos. Petroproducción. 1991.

Overseas Development Administration,
Foreign and Commonwealth Office,
United Kingdom of Great Britain
and Northern Ireland

Ministerio de Energía y Minas
República del Ecuador

550
ETE

BIBLIOTECA
FICT

PROYECTO DE INVESTIGACION GEOLOGICA
CORDILLERA REAL

CUARTO INFORME ANUAL

(ABRIL 1989 - MARZO 1990)

recopilado por

J. A. Aspden, BSc, PhD.

Geología por:	J. A. Aspden M. Litherland	R. Bermúdez F. Viteri
Geoquímica por:		R. Buitrón, F. Guevara, P. Jara, S. Naveda, S. Salvador
Geocronología por:	J. A. Aspden S. H. Harrison C. R. Rundle	H. Casanova F. Viteri
Estudios de minerales pesados por:		M. Arauz (Politécnica, Quito) R. Bermúdez G. Erazo
Paleontología por:	C. Patterson (Museo de Hist. Nac.) J. B. Riding	
Petrografía por:	N. J. Fortey	J. Paucar (preparación de láminas delgadas)
Producción del informe:		F. Alcocer C. K. Silva
Asistentes de campo:		M. Célleri L. Saltos
	BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL, UK.	INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA, QUITO, ECUADOR
Geoquímica adicional:	RTZ, Quito, Ecuador Greenwich Resources, Quito, Ecuador	

C O N T E N I D O S

Página

RESUMEN

1 INTRODUCCION

1.1 Esencia de este informe 1
1.2 Personal 1
1.3 Sumario de actividades del Proyecto: abril 1989-marzo 1990. 2
1.3.1 Programa de reconocimiento de campo 2
1.3.2 Programa de geocronología (Fase II) 3
1.3.3 Análisis químicos de roca total 3
1.3.4 Estudios petrográficos 3
1.3.5 Estudios paleontológicos 4
1.3.6 Estudios geoquímicos económicos de sedimentos fluviales y análisis de rocas 4
1.3.7 Estudios geoquímicos de minerales pesados 5
1.4 Agradecimientos 5

2 GEOLOGIA 6

2.1 Introducción 6
2.2 Nomenclatura litotectónica de las rocas pre-Cretácicas de la Cordillera Real 6
2.3 Geología de las rocas pre-Cretácicas de la Cordillera Real 9
2.3.1 División Guamote 9
2.3.1a Subdivisión Ambuquí 9
2.3.2 División Alao 9
2.3.2a Subdivisión Peltetec 10
2.3.2b Subdivisión Pacheco 10
2.3.2c Subdivisión Maguazo 10
2.3.2d Subdivisión Alao-Paute 11
2.3.2di Geocronología de la subdivisión Alao-Paute 11
2.3.2e Subdivisión El Pan 11
2.3.3 División Loja 11
2.3.3a Subdivisión Tres Lagunas 12
2.3.3ai Geoquímica de la subdivisión Tres Lagunas 12
2.3.3aii Geocronología de la subdivisión Tres Lagunas 14
2.3.3b Subdivisión Agoyán 14
2.3.3c Subdivisión Chiguinda 15
2.3.3d Subdivisión Sabanilla 15
2.3.3di Geoquímica de los ortogneises de la subdivisión Sabanilla 16
2.3.3dii Geocronología de la subdivisión Sabanilla 16

2.3.3e Subdivisión Monte Olivo 17
2.3.4 División Salado 17
2.3.4a Subdivisión Santa Bárbara 17
2.3.4b Subdivisión Azafrán 17
2.3.4bi Geoquímica de la subdivisión Azafrán 17
2.3.4bii Geocronología de la subdivisión Azafrán 18
2.3.4c Subdivisión Upano 19
2.3.4d Subdivisión Cerro Hermoso 19
2.3.5 División Zamora 19
2.3.5a Subdivisión Abitagua 19
2.3.5ai Geoquímica de la subdivisión Abitagua 20
2.3.5aii Geocronología de la subdivisión Abitagua 20
2.3.5b Subdivisión Misahuallí 23
2.3.5bi Geocronología de la subdivisión Misahuallí 24
2.4 Geología de las rocas cretácicas de la Cordillera Real 24
2.4.1 Sedimentos cretácicos de las Formaciones Hollín, Napo y Tena 24
2.4.2 Intrusivos cretácicos y complejos máficos 25
2.4.2a Plutón Pimampiro 26
2.4.2b Area Magtayán 26
2.4.2c Complejo máfico/ultramáfico Tampanchi 27
2.4.2d Otros complejos máficos/ultramáficos 27
2.4.3 Sedimentos terciarios 27
2.4.4 Intrusivos terciarios menores 28
2.4.5 Stocks porfíricos 28
2.4.6 Depósitos volcánicos cenozoicos 28
2.5 Estructura 29
2.6 Edades radiométricas reajustadas de la Cordillera Real 29
2.6.1 Subdivisión Sabanilla 30
2.6.2 Subdivisiones Tres Lagunas y Agoyán 30
2.6.3 Sumario de la evidencia geocronológica y la interpretación de las edades reajustadas-cretácica a terciaria inferior 35

3 OCURRENCIAS MINERALES Y ANOMALIAS GEOQUIMICAS 39

3.1 Metales preciosos 39
3.1.1 Oro y Plata 39
3.1.1a Ocurrencias aluviales (Au) 39
3.1.1b Anomalías geoquímicas (Au y Ag) 40
3.2 Metales mayores principales 41
3.2.1 Cobre 41
3.2.2 Plomo y Zinc 43
3.2.3 Estaño 44

3.3 Metales para la industria de acero 44
3.3.1 Cromo 44
3.3.2 Cobalto 44
3.3.3 Hierro y Manganeso 45
3.3.4 Molibdeno 45
3.3.5 Niquel 45
3.3.6 Tungsteno 45
3.3.7 Titanio 46
3.3.8 Vanadio 46
3.4 Minerales combustibles 46
3.4.1 Petróleo 46
3.5 Metales y minerales eléctricos 46
3.5.1 Cadmio 46
3.6 Metales y minerales químicos 46
3.6.1 Antimonio 46
3.6.2 Bario 47
3.6.3 Bismuto 47
3.6.4 Caolín 47
3.6.5 Azufre 47
3.7 Metales nucleares y radioactivos 47
3.7.1 Uranio 47
3.7.2 Thorio 47
3.8 Aislantes y refractarios 47
3.8.1 Asbestos 47
3.8.2 Grafito 48
3.9 Otras rocas gemas industriales minerales 48
3.9.1 Carbonato 48
3.9.2 Granate 48
3.9.3 Piedra ornamental 48
3.9.4 Fosfato 49
3.9.5 Sílice 49
3.9.6 Turmalina 49

FIGURAS

Fig. 1 Ubicación de los Mapas Geológicos 8 y 9 en la Cordillera Real (escala 1:250.000) 7
Fig. 2 Comparación de valores K20 y Na20 de la subdivisión Tres Lagunas y de los batolitos de Abitagua, Azafrán y Zamora 13
Fig. 3 Edades radiométricas de K/Ar y Rb/Sr de las rocas plutónicas de los batolitos de Abitagua y Zamora 22
Fig. 4 Edades minerales K/Ar reajustadas de la subdivisión Sabanilla 32
Fig. 5 Edades radiométricas K/Ar reajustadas de la subdivisión Tres Lagunas y Agoyán 34
Fig. 6 Edades radiométricas de la Cordillera Real reajustadas cretácico a terciario inferior 37

TABLAS

Tabla 1 Las divisiones y subdivisiones litotécto-nicas informales de las rocas pre-cretácicas de la Cordillera Real 8

Tabla 2 Batolito Zamora/Río Mayo edades minerales K/Ar para las rocas plutónicas 21
Tabla 3 Edades minerales K/Ar reajustadas de la subdivisión Sabanilla 31
Tabla 4 Edades minerales K/Ar reajustadas de las subdivisiones Tres Lagunas y Agoyán 33

REFERENCIAS **50-52**

APENDICE 1 Informes de comisión (1a-1g) (J. A. Aspden, R. Bermúdez, M. Litherland and F. Viteri)
APENDICE 2 Programa de geocronología (Fase II) (2a-2c) (S. H. Harrison and C. R. Rundle)
APENDICE 3 Análisis químicos de roca total (Universidad de Keele, UK)
APENDICE 4 Estudio petrográficos (4a-4b) (N. J. Fortey)
APENDICE 5 Estudios paleontológicos (5a-5c) (J. B. Riding y C. Patterson)
APENDICE 6 Estudios geoquímicos - análisis de rocas y sedimentos fluviales (6a-6b) (INEMIN, ACME y Caleb-Brett)
APENDICE 7 Estudio semicuantitativo de sedimentos pesados y los resultados XRF (7a-7b) (R. Bermúdez y M. Aráuz)

RESUMEN

Este informe es el resultado del trabajo realizado desde abril 1989 a marzo 1990 por el Proyecto de Investigación Geológica Cordillera Real: Programa Bilateral de Cooperación Técnica (ODA-INEMIN).

Como se detalla en el Capítulo 1, se incluyen como Apéndices, y además como un Anexo separado de Mapas, todos los datos recolectados por el Proyecto en los pasados 12 meses.

En los inicios del programa de campo de 1989, el trabajo geológico fue realizado en la parte sur de la Cordillera Real y se completaron dos geotravesías entre Oñacapa-Yacuambí y Jimbilla-Río Quimi. Estudios de campo adicionales fueron efectuados alrededor del área de Tutupali. El trabajo de campo posterior se concentró en llenar los espacios sobrantes en el programa de geotravesía que existe, al norte, entre la línea equinoccial y la frontera con Colombia y en la parte central de la cordillera entre los ríos Paute y Pastaza (c. 1°20'S - 2°35'S). Dos mapas geológicos de estas últimas áreas están incluidos en el Anexo de Mapas, al igual que las copias de todos los mapas individuales 1:50.000 de las geotravesías.

En el Capítulo 2 se presenta una nomenclatura litotectónica para la Cordillera Real y las divisiones y subdivisiones reconocidas son descritas brevemente. Además los resultados obtenidos de las Fases I y II del Programa de Geocronología son discutidos siendo reconocidos los siguientes eventos termales/magmáticos:

a) Metamorfismo regional Triásico Superior/Jurásico Inferior (c. 200 Ma) con intrusión de granito de tipo-S.
b) Plutonismo y volcanismo calco-alcalino de 190-150 Ma en la zona subandina y probablemente a lo largo de los flancos orientales de la cordillera.
c) Un evento de cizallamiento dextral importante (c. 130-120). Reajustamiento de edades metamórficas más antiguas y metamorfismo a facies de esquisto verde de rocas volcánicas Jurásicas dentro de la cordillera.
d) Mayor sobreimpresión termal y un evento de reajuste de edad Cretácica Superior a Terciaria Inferior.

Especulamos que los eventos (c) y (d) se relacionan a episodios acrecionales cuya actividad magmática fue de extensión geográfica restringida.

Los resultados analíticos/económicos obtenidos de los sedimentos fluviales y de las muestras de rocas mineralizadas son anotados en el Capítulo 3.

I INTRODUCCION

1.1 ESENCIA DE ESTE INFORME

Este es el cuarto informe anual del Proyecto de Investigación Geológica Cordillera Real; un Proyecto de Cooperación Técnica bilateral entre el Gobierno del Ecuador (Instituto Ecuatoriano de Minería-INEMIN; Ministerio de Energía y Minas) y el Gobierno del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte (Administración para el Desarrollo Ultramar-ODA), que se inició en marzo de 1986. Los miembros oficiales de Cooperación Técnica pertenecen al Servicio Geológico Británico (BGS).

El presente informe cubre el periodo comprendido entre abril 1989 a marzo 1990.

El objetivo del proyecto es estudiar las rocas metamórficas de la Cordillera Real del Ecuador, mediante el estudio de su naturaleza y estructura, tendientes a descubrir los patrones de metalogénesis y proveer una base científica para ayudar a promover la Industria Minera Ecuatoriana.

Como en informes anteriores, éste intenta incluír, como Apéndices, todos los datos que han sido obtenidos por el proyecto en los últimos 12 meses. El texto principal del informe es producido tanto en Inglés como en Español, pero los Apéndices aparecen en el idioma de su presentación.

1.2 PERSONAL

Durante el cuarto año, el proyecto continuó con los siguientes miembros residentes de ODA, prestados por BGS:

Dr Martin Litherland (Jefe del Proyecto)
Dr John Aspden

El siguiente personal de INEMIN fue asignado al proyecto:

Ing Francisco Viteri Santamaría (Jefe de la Contraparte hasta octubre 1989).
Ing Ramiro Bermúdez Almeida (Jefe de la Contraparte desde noviembre 1989).
Ing Miguel Pozo Torres (Contraparte hasta agosto 1989).
Lcda Fabiola Alcocer Carrasco (Secretaria de la Misión).
Sr Manuel Célleri Ortiz (Asistente de campo hasta noviembre 1989).
Sr Laureano Saltos Unda (Asistente de campo desde noviembre 1989).

1.3 SUMARIO DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO:- ABRIL 1989-MARZO 1990.

1.3.1 Programa de reconocimiento de campo

Las copias individuales de los reportes de campo son presentadas en el Apéndice 1, sin embargo los mapas de 'travesías' geológicas son presentados como un anexo separado al informe principal.

Las siguientes geotravesías y estudios de campo fueron realizados en la cordillera (durante el periodo de abril 1989 a marzo 1990):

a) Estudios de campo en el área de los ríos Yanayacu, Patate, Pastaza y Quijos (Apéndice 1a, Solo el informe) (Litherland).

b) Geotravesía de Monte Olivo al Río Condue y estudios de campo en el área del Río Minas (Apéndice 1b, Mapa Geológico No. 1) (Litherland).

c) Geotravesía de 'Las Hollas' al Río San Jorge vía La Bonita y La Sofía (Apéndice 1c, Mapa Geológico No.2) (Litherland).

d) Geotravesía de La Bonita a Puerto Libre (Apéndice 1c, Mapa Geológico No. 2) (Litherland).

e) Geotravesía de Oñacapa a Yacuambi (Apéndice 1d, Mapa Geológico, No. 3) (Aspden y Viteri).

f) Geotravesía de Jimbilla al Río Quimi (Apéndice 1d, Mapa Geológico, No. 3) (Aspden y Viteri).

g) Geotravesía de Tutupali a Ortega Alto y Río Campana Urco. Estudios de campo en el Río Chuchumbleza (Apéndice 1e, Mapa Geológico, No. 4) (Viteri).

h) Geotravesía de Atillo a Macas (Río Abanico). (Apéndice 1f, Mapa Geológico, No. 5) (Aspden).

i) Geotravesía de Alao a Palora vía Huamboya (Apéndice 1f, Mapa Geológico No. 6) (Aspden).

j) Geotravesía a lo largo del Río Tutunangoza al Río Ojal, estudios de campo en las áreas de El Azul, Sigsig a Mina Peggy, Río Illushin y por el carretero de Puyo a Baños (Apéndice 1g, Mapa Geológico del Río Tutunangoza al Río Ojal, No. 7) (Aspden y Bermúdez)

1.3.2 Programa de geocronología (Fase II)

La colección de material para la Fase II del programa de geocronología, tanto de la Cordillera Real como de la Provincia de El Oro, fue completado en marzo 1989. Detalles de este programa de muestreo son presentados en el 'Reporte de Visita' del Dr Harrison (Apéndice 2a), y los resultados constan en el informe titulado 'Edades radiométricas (Rb-Sr, K-Ar y Sm-Nd) para rocas de la Cordillera Real, Ecuador' (Apéndice 2b).

A más de estos resultados se completaron algunas determinaciones pendientes por el Dr Rundle (ver el Apéndice 2c).

1.3.3 Análisis químicos de roca total

Durante el año pasado un número limitado de análisis de roca total de elementos mayores y trazas han sido obtenidos de los siguientes plutones y metaplutones de la Cordillera Real y de la Provincia de El Oro:
Batolito de Zamora (9 análisis); Batolito de Abitagua (10 análisis); Conjunto Tres Lagunas (18 análisis); Batolito de Azafrán (6 análisis); Metaplutón de Sabanilla (14 análisis); Plutón Marcabelí (El Oro) (4 análisis); Metaplutón Valladolid (4 análisis) y el complejo máfico de Tampanchi (2 análisis).

Los análisis que fueron realizados en la Universidad de Keele, UK, están ubicados en el Apéndice 3. La localización de las muestras con el prefijo -SH- están en el informe de Harrison (Apéndice 2a), y aquellos con el prefijo -CR- en el informe de Rundle (Apéndice 3, en Litherland 1988).

1.3.4 Estudios petrográficos

El Dr Fortey (del Grupo de Ciencias Minerales del BGS), visitó el proyecto en los primeros meses de 1990 (enero 20 - marzo 03). El propósito de su visita tuvo dos motivos. Primero dar un curso introductorio sobre petrología ígnea y metamórfica a los geólogos de INEMIN, usando como base muestras de mano y láminas delgadas recolectadas de la Cordillera Real. Este fue un curso muy acogido y atendido por 13 'estudiantes', el factor limitante fue la disponibilidad de microscopios! Una copia de las notas del curso del Dr Fortey, las que contienen varias descripciones de láminas delgadas de las rocas de la

cordillera es incluido como Apéndice 4a. El Dr Forbey durante su visita, también llevó a cabo estudios petrográficos detallados en los siguientes conjuntos de rocas (de potencial interés económico que han sido recolectados por el Proyecto desde su iniciación en 1986, ver Apéndice 4b).

1) Faja Central y Oriental de serpentinitas y rocas relacionadas (potencial para Cr, Ni, Au, Pt).

2) La faja ofiolítica de Peltetec (potencial para Cr, Ni, Au, Pt).

3) La faja de Oyacachi - Papallacta "granito aluminífero" (potencial para Sn, W).

4) El complejo máfico/ultramáfico de Tampanchi (potencial para PGE - elementos del grupo del platino).

5) El skarn de oro Nambija (al momento explotado para oro).

6) Los campos de skarn Llanganates y similares (potencial para Cu, Zn, Mo).

7) La faja pegmatítica de Monte Olivo (potencial para Sn, W, Nb).

1.3.5 Estudios paleontológicos

Los reportes palinológicos de las divisiones Loja y Alao, realizados por el Dr J. A. Riding (Grupo de Investigación Bioestratigráfica del BGS) y un informe del Dr C. Patterson (Museo de Historia Natural, Londres) sobre un fósil de pescado Terciario son incluidos como Apéndice 5.

1.3.6 Estudios geoquímicos económicos de sedimentos fluviales y análisis de rocas.

Análisis rutinarios de elementos trazas de muestras de sedimentos fluviales y de rocas han sido llevados a cabo en los laboratorios de INEMIN en Quito (Apéndice 6a). Además BP Mineral (ahora Río Tinto Zinc) y Greenwich Resources han patrocinado el análisis de varias muestras de rocas en los laboratorios ACME Vancouver, Canadá y en los laboratorios CALEB-BRETT, en St Helens, UK (Apéndice 6b).

1.3.7 Estudios geoquímicos de minerales pesados

Durante el proyecto los minerales pesados han sido recolectados de la Cordillera Real de manera rutinaria. Después de completar sus estudios en UK, sobre la identificación de minerales pesados, el Ing Ramiro Bermúdez ha completado la investigación de todas las muestras del proyecto y sus resultados están presentados en el Apéndice 7.

1.4 AGRADECIMIENTOS

Reiteramos nuestro agradecimiento por la ayuda financiera y administrativa al INEMIN a través de su Gerente General Ing Leonardo Elizalde C., y a ODA a través de sus representantes en Ecuador, Mr Russell, y Mr Harris, y al Sr Douglas de Wilton, Oficial de Cooperación Técnica en la Embajada Británica, Quito.

Apreciamos también el apoyo científico del Gerente Técnico de INEMIN Ing Wilson Santamaría, y al Dr John Bennett, Geólogo Regional de BGS para América Latina y Asia.

Una vez más, es un placer agradecer la contribución a este informe realizada por RTZ (ex-BP Minerals International); Greenwich Resources y Cámbrico Exploration. Además nos gustaría agradecer a Phil Townsend de BP, quien contribuyó con información relacionada con la zona subandina al oeste de Sucúa, y al oeste y suroeste de Puyo.

Numerosas personas del Ecuador, tanto en el sector público como en el privado, han ayudado a los integrantes del proyecto y a este informe con el intercambio de información útil. Nosotros esperamos que continuemos trabajando juntos para el beneficio de la geología y la industria minera Ecuatoriana.

2 GEOLOGIA

2.1 INTRODUCCION

En los pasados doce meses, el trabajo se ha concentrado en llenar aquellos espacios en el programa regional de geotravesías que existen entre la línea equinoccial y la frontera con Colombia; y, en la parte de la cordillera entre los ríos Pastaza y Paute (c. 1°20'S a 2°20'S). Este trabajo ya ha sido completado, y basado en las informaciones obtenidas de las geotravesías individuales (Apéndice 1 e Informes Anuales anteriores), han sido preparados dos mapas geológicos a escala 1:250.000 y están incluidos como Mapa 8 y Mapa 9 en la carpeta adjunta al informe principal (ver Fig. 1).

A más de lo anterior, en los inicios del programa de campo de 1989, se llevaron a efecto dos geotravesías entre Oñacapa (al este de Saraguro) y Yacuambí, y Jimbilla (al norte de Loja) y el Río Quimi (Apéndice 1d). Para completar la cobertura regional de la parte sur de la cordillera, el Ing F. Viteri, además trabajó en el área de Tutupali-Ortega Alto, y en los ríos Campana Urco y Chuchumbleza (Apéndice 1e).

El tiempo no permite una discusión detallada de las geotravesías individuales, ni de todos los datos que están incluidos como Apéndices en este informe. La intención sin embargo, es sintetizar los descubrimientos más importantes, especialmente aquellos de las Fases I y II del Programa de Geocronología, y presentar los que nosotros creemos representan avances para obtener un conocimiento mejor de la geología regional de la Cordillera Real.

2.2 NOMENCLATURA LITOTECTONICA DE LAS ROCAS PRE-CRETACICAS DE LA CORDILLERA REAL

En los Informes Anuales anteriores las rocas metamórficas y metaplutónicas de la Cordillera Real fueron divididas en tres fajas principales: la faja Occidental, que estuvo limitada al este por el frente Baños; la faja Central; y la faja Oriental o subandina. Mientras esta división tripartita resultó útil en el pasado, creemos que ya no se justifica y, además, como resultado de la información obtenida en los pasados 12 meses, es necesario revisar algunas de nuestras nomenclaturas provisionales anteriores.

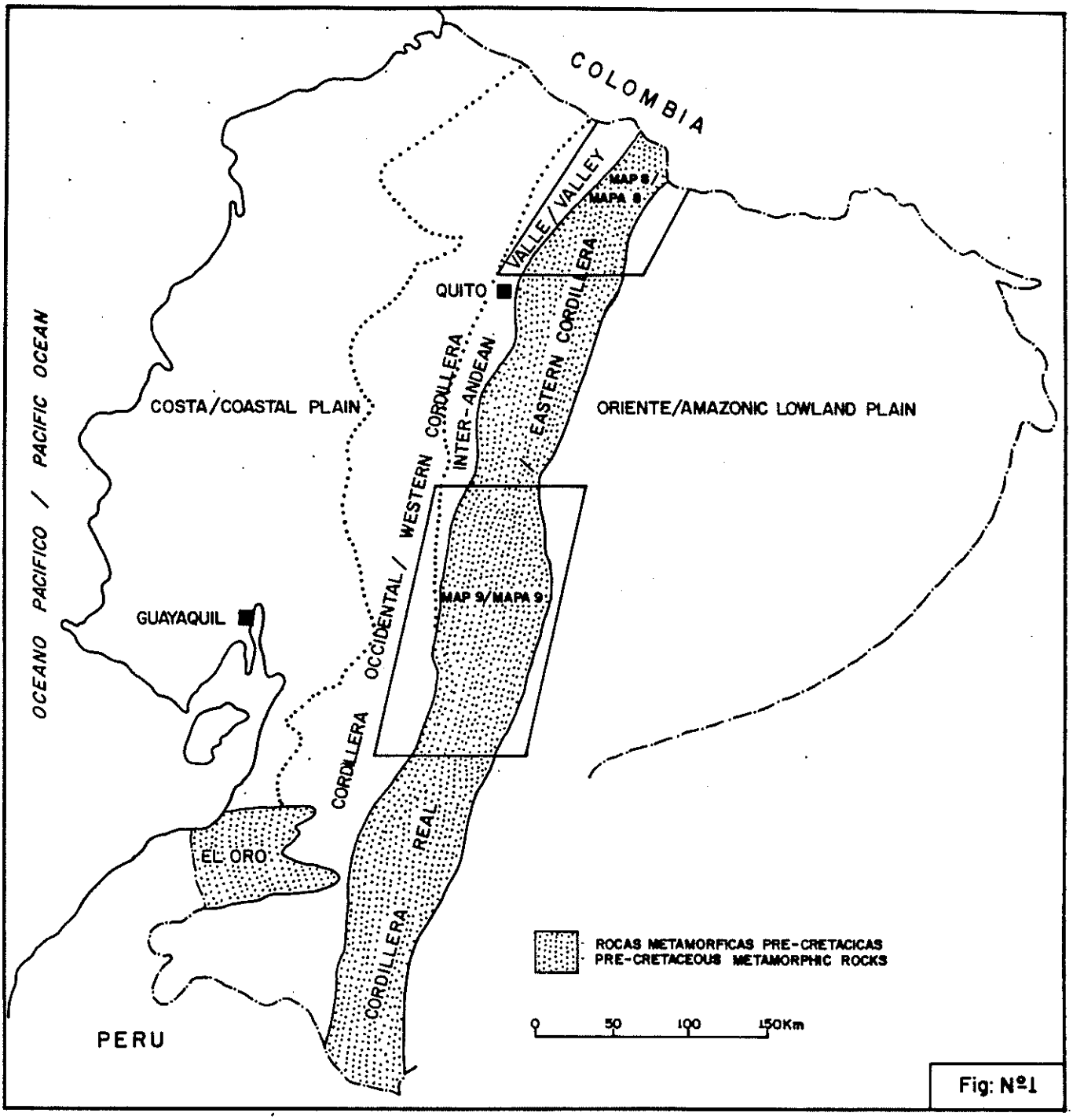

COLOMBIA
VALLE/VALLEY
MAP 8/
MAPA 8
QUITO
EASTERN CORDILLERA
INTER-ANDEAN
WESTERN CORDILLERA
OCCIDENTAL/
COSTA/COASTAL PLAIN
ORIENTE/AMAZONIC LOWLAND PLAIN
OCEANO PACIFICO / PACIFIC OCEAN
MAP 9/MAPA 9
GUAYAQUIL
CORDILLERA
REAL
EL ORO
CORDILLERA
ROCAS METAMORFICAS PRE-CRETACICAS
PRE-CRETACEOUS METAMORPHIC ROCKS
0 50 100 150Km
PERU

Fig: Nº1

TABLA 1. DIVISIONES Y SUBDIVISIONES LITHOTECTONICAS INFORMALES DE LAS ROCAS PRE-CRETACICAS DE LA CORDILLERA REAL

DIVISION/ (interpretación)	SUBDIVISION	LITOLOGIAS PRINCIPALES
GUAMOTE (sedimentos continentales/cuñas clásticas)	Ambuquí	Cuarcitas y pizarras negras.
	Cebadas	Filitas negras y cuarcitas negras.
	Guasuntos	Filitas negras y cuarcitas negras.
	Punín	Cuarcitas y filitas rojas negras y pálidas.
	FALLA PELTETEC	
ALAO (corteza oceánica, ante-arco arco volcánico y tras-arco)	Peltetec	Conjunto ofiolítico desmembrado.
	Pacheco	Esquistos verdes basálticos.
	Maguazo	Turbiditas, cherts, carbonatos, andesitas, olistromos?
	Alao-Paute	Rocas verdes andesíticas, esquistos verdes, aglomerados, filitas menores.
	El Pan	Unidades volcano/metasedimentarias: esquistos verdes y filitas.
	FRENTE BAÑOS	
LOJA (unidad continentalmente derivada: filita a paragneis con 'tipo-S' granitos)	Tres Lagunas	Granito de biotita y ortogneis (caracter de tipo-S).
	Agoyán	Esquistos pelíticos y paragneises, granate común.
	Chiguinda	semipelita (cuarcita, filitas negras, esquistos), rocas verdes menores.
	Sabanilla	Ortogneis y paragneis de grado medio-a-alto.
	Monte Olivo	Anfibolitas basálticas.
SALADO (unidad plutónica con secuencia volcano-sedimentaria	Santa Bárbara	Biotita ± hornblenda paragneis?
	Azafrán	Batolitos cizallados alcalinos cálcicos.
	Upano	Metasedimentos de rocas verdes, metatobas, metagrauwackas; mármoles menores.
	Cerro Hermoso	Mármoles y metasedimentos.
	LIMITE CRATONICO APROXIMADO	
ZAMORA Arco plutónico/volcánico continental y metamórficos mayores)	Abitagua	Batolitos alcalinos cálcicos (no deformados).
	Misahuallí	Andesitas, dacitas, basaltos, aglomerados (no deformados).
	Isimanchi	Mármoles, metasedimentos inmaduros de grado bajo y unidades metavolcano-sedimentarias (Pre-Abitagua).

La nomenclatura litotectónica revisada, junto con las descripciones breves de las diferentes subdivisiones, están presentadas en la Tabla 1 y son discutidas más adelante en la Sección 2.3. Sin embargo, enfatizamos que este esquema es todavía informal y se espera más cambios en el futuro, cuando se realice un mapeo detallado, y en particular, cuando sean obtenidas edades radiométricas más confiables de las rocas metamórficas de la Cordillera Real.

2.3 GEOLOGIA DE LAS ROCAS PRE-CRETACICAS DE LA CORDILLERA REAL

2.3.1 División Guamote

No se ha llevado a cabo trabajo adicional en el sur de la división Guamote, y la información disponible está sumarizada en Litherland et al., (1990) y en los Informes Anuales anteriores. En términos regionales estas rocas son interpretadas para representar una cuña clástica de material predominantemente continental que han sido depositados en el tope de las secuencias oceánicas y ante arco de la división Alao.

2.3.1a Subdivisión Ambuquí

En el norte (Mapa 8), las rocas que previamente fueron incluidas en la parte occidental de la ventana del esquisto de Ambuquí (Baldock, 1982) se considera ahora que pertenecen a la división Guamote (Tabla 1). Esta secuencia, que es estructuralmente compleja, consiste de cuarcitas rojizas pálidas y grises de grano fino y pizarras negras a grises y filitas. El contacto oriental con la división Alao (subdivisión Pacheco) es tectónico (Mapa 8).

2.3.2 División Alao

De oeste a este la división Alao consiste de las siguientes subdivisiones: Peltetec (corteza oceánica); Pacheco; Maguazo (ante arco turbiditas y andesitas); Alao-Paute (arco volcánico andesítico); y, El Pan (unidad volcano-sedimentaria, tras arco?). La distribución regional de la división Alao está dada en Litherland et al., (1990) y en los Informes Anuales previos (ver además Mapas 8 y 9 de este informe). El límite oriental corresponde al frente Baños (Tabla 1).

2.3.2a Subdivisión Peltetec

Láminas delgadas de muestras recolectadas de la subdivisión Peltetec han sido examinadas por el Dr Fortey (Apéndice 4b). Aunque solamente un limitado número de especimenes fueron disponibles para su estudio (26 en total) las observaciones del Dr Fortey de que estas rocas forman un conjunto consistente de litologías ofioliticamente relacionadas, están de acuerdo con nuestra primera interpretación de que la subdivisión Peltetec es una ofiolita desmembrada.

Entre otros tipos de rocas identificadas están las siguientes: serpentinitas, variedad de gabros alterados, posible norita, piroxenita, basalto y dolerita alterados. La yuxtaposición de rocas plutónicas y de rocas de "nivel alto" (lavas, etc.), la variación en alteración y desarrollo de esquistosidad sugieren que esta subdivisión representa un melange tectónico.

2.3.2b Subdivisión Pacheco

Estas rocas están presentes solamente en el norte (Mapa 3) y forman la parte oriental de lo que previamente fue referido como la ventana de esquisto de Ambuquí (Baldock, 1982). La subdivisión Pacheco no es bien conocida pero se piensa que consiste principalmente de rocas verdes basálticas ("greenstones") las que están en contacto tectónico con la subdivisión Ambuquí al oeste (ver 2.3.1). El nivel de estas rocas es incierto pero tentativamente están relacionadas con una de las subdivisiones Peltetec o Maguazo al sur.

2.3.2c Subdivisión Maguazo

Algunas muestras rodadas recolectadas en el Río Jadan tuvieron palinomorfos de edad Callovian-Oxfordian (ver Litherland, 1989, Apéndice 9). En un intento para confirmar esta edad nueve muestras de filitas negras y grises de la subdivisión Maguazo, que está expuesta a lo largo de la carretera principal de Cuenca a Paute, fueron sometidas a análisis palinológicos (ver el informe del Dr J.B. Riding, Apéndice 5a). Desafortunadamente no se encontró un diagnóstico palinomorfo pero fue indicado un límite de edad Jurásica/Cretácica.

2.3.2d Subdivisión Alao-Paute

Tipicamente esta subdivisión consiste de rocas y esquistos verdes andesíticos. Son relativamente comunes los meta-aglomerados, especialmente en el sur cerca de Gualaceo. También están presentes cantidades menores de metasedimentos, filitas y probable material metatobáceo.

En el campo puede demostrarse que el desarrollo de los esquistos verdes está formalmente relacionado a la presencia de zonas de cizallamiento las cuales son generalmente vertical a subvertical y con rumbos andinos pero fuera de estas áreas las rocas son frecuentemente masivas y relativamente no deformadas.

2.3.2di Geocronología de la subdivisión Alao-Paute

Las determinaciones de edades radiométricas obtenidas de la subdivisión Alao-Paute son consideradas no confiables debido al contenido muy bajo de potacio en los minerales separados (Apéndice 8, en Litherland, 1989).

2.3.2e Subdivisión El Pan

Esta subdivisión está presente en la parte sur de la división Alao-Paute (Mapa 9) y en términos generales corresponde a la parte occidental del esquisto El Pan de Bristow y Guevara (1980) y Bristow et al., (1975) (ver además Baldock, 1982). Esencialmente es una unidad mixta volcano-sedimentaria que contiene una variedad de rocas esquistosas y filíticas. Filitas feldespáticas, filitas grafíticas y rocas verdes más masivas con actinolita $\pm$ clinozoicita $\pm$ epidota son comunes. También están presentes cuarcitas impuras y mármoles oscuros coloreados. En general parece que esta unidad es de grado metamórfico un poco más alto que el resto de la división Alao.

2.3.3 División Loja

La división Loja, cuyo límite occidental coincide con el frente Baños, comprende cinco divisiones principales (Tabla 1). Los detalles de las subdivisiones Tres Lagunas, Chiguinda, Sabanilla y Agoyán han sido presentados en Informes Anuales anteriores y una síntesis regional aparece en Litherland, et al., (1990). La información adicional recogida durante los pasados 12 meses es discutida a continuación.

2.3.3a Subdivisión Tres Lagunas

Esta subdivisión consiste de granitos de biotita que afloran junto a, o inmediatamente al oeste del frente Baños (Mapa 9). Los granitos están extensamente cizallados y comprenden comunmente de S-C milonitas de tipo-I (Berthe et al., 1979, Lister y Snoke, 1984). Estas rocas exhiben quimicamente y mineralogicamente ciertas características de granitos de tipo-S, los cuales son derivados de la corteza continental. Nuevas descripciones petrológicas de granitos/monzogranitos del área de Papallacta y Oyacachi (Mapa 1, en Litherland, 1989) y la faja pegmatítica de Monte Olivo (Mapa 8, de este informe) que se creen representan la extensión norte de la subdivisión Tres Lagunas y están dadas en el Apéndice 4b.

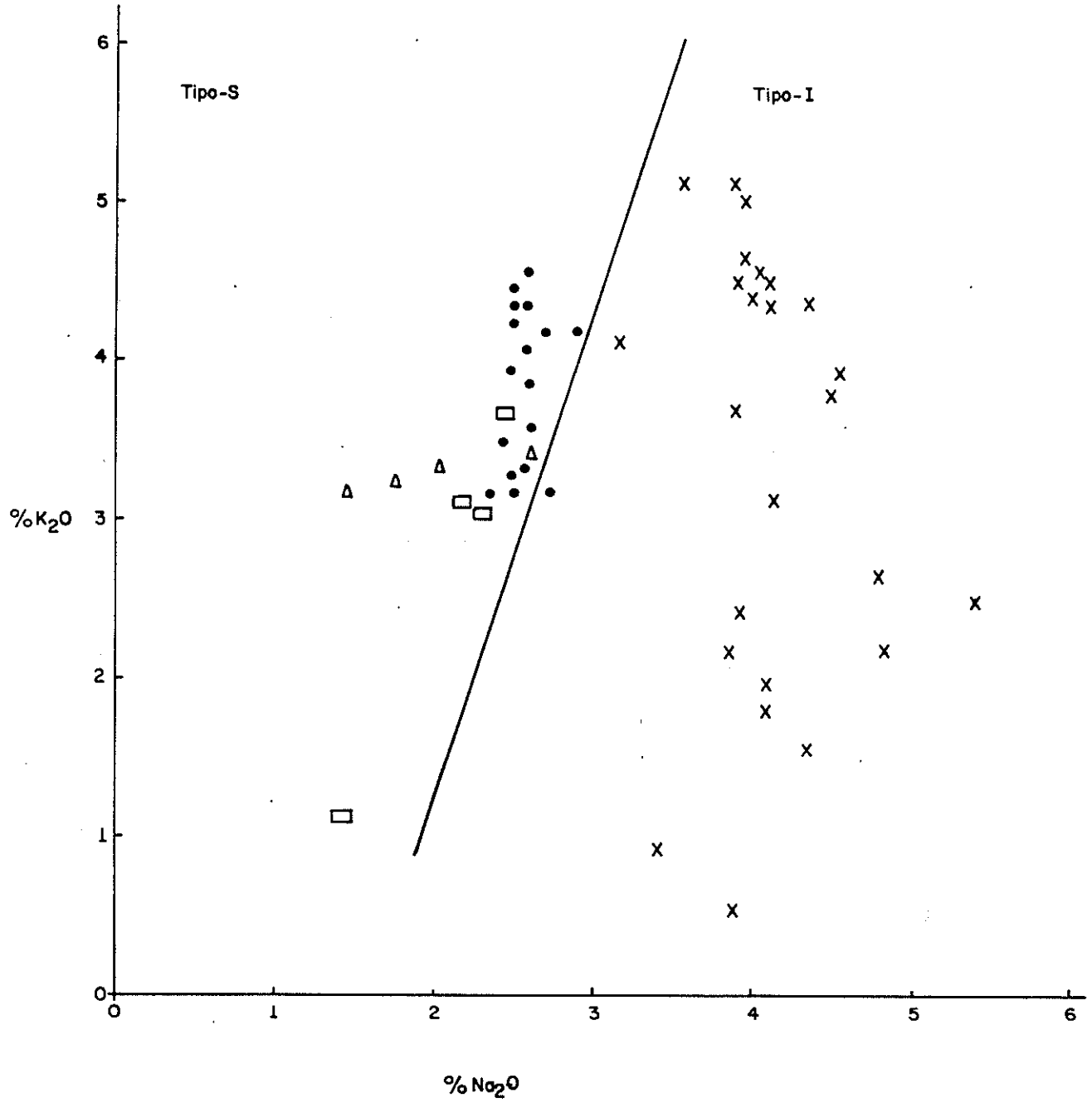
2.3.3ai Geoquímica de la subdivisión Tres Lagunas

En el Apéndice 3, están listados 18 análisis de rocas totales , de elementos mayores trazas de la subdivisión Tres Lagunas. Los ploteos detallados de los datos todavía tienen que ser completados, pero un examen breve de estos resultados confirman nuestras observaciones de campo anteriores de que estas rocas son composicionalmente restringidas. Con la excepción de SH14K, que representa un xenolito aplítico dentro del granito principal de Tres Lagunas, los elementos mayores tienen los siguientes rangos: SiO_2 68-73 % en peso; Al_2O_3 13-24 % en peso; CaO 1.5-2.5 % en peso; Na_2O 2-3 % en peso y K_2O 3-4 % en peso.

Uno de estos ploteos más simples usados para distinguir entre los granitos tipo S e I es el de K_2O versus Na_2O (Chapell y White, 1974). En la Fig. 2 los análisis de K_2O y Na_2O obtenidos de la subdivisión Tres Lagunas y también de los batolitos alcalinos-cálcicos de Zamora, Abitagua y Azafrán han sido ploteados (Apéndice 3). Como se puede ver el último grupo cae dentro del campo de tipo-I pero de las muestras de Tres Lagunas, con la excepción de un punto, caen dentro, pero junto al límite del, campo de tipo-S. Este ploteo parece caracterizar los granitos de la subdivisión Tres Lagunas y colocarlas aparte de los batolitos de tipo-I de los Andes Ecuatorianos.

A más de lo anterior la relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ obtenidos de los análisis Rb/Sr de roca total dan valores de > 0.712. Estas relaciones iniciales están basadas en 'errorchrons' (ver abajo y además Apéndice 2b) y, así no puede ser enteramente confiable. Sin embargo, ellos sugieren contaminación substancial de la corteza continental de los magmas de Tres Lagunas y contrastan con las relaciones iniciales más bajas de 0.7046 obtenidas del batolito Abitagua (Apéndice 3, en Litherland, 1988).

COMPARACION DE VALORES K_2O Y Na_2O DE LA SUBDIVISION TRES LAGUNAS Y DE LOS BATOLITOS DE ABITAGUA, AZAFRAN Y ZAMORA



X ROCAS PLUTONICAS DE ABITAGUA, AZAFRAN Y ZAMORA

● GRANITOS DE LA SUBDIVISION TRES LAGUNAS

Δ METAPLUTON VALLADOLID

□ METAPLUTON SABANILLA

ver sección 2.3.3d

Fig: Nº2

2.3.3aii Geocronología de la subdivisión Tres Lagunas

Durante todo el tiempo del proyecto varios intentos han sido realizados para datar la subdivisión Tres Lagunas pero ninguno de los métodos empleados (K-Ar, Rb-Sr (roca-total) y Sm-Nd (granate)) han demostrado haber sido enteramente exitosos.

Un solo isocrono de Sm-Nd (granate) dio una edad de 257 ±125 Ma y dos Rb-Sr 'errorchrons' de roca total de la cuenca Malacatus y del área de Tres Lagunas al este de Saraguro dieron edades de 194 ± 50 Ma (MSWD 49.5) y 189 ± 43 Ma (MSWD 289.1) (Apéndice 2b). Los datos combinados de Rb-Sr (18 puntos) dan una edad de 'errorchron' de 200 ± 12 Ma (MSWD 169.1) (Fig. 7c, Apéndice 2b).

La interpretación de estos resultados no es simple, pero sugieren que la subdivisión Tres Lagunas puede ser de edad Jurásica Inferior/Triásica Superior. Puede ser significativo que esta edad es similar a, pero ligeramente más jóven que, aquella obtenida de los paragneises granatíferos y los gneises pegmatíticos del área de La Bocana en la Provincia de El Oro (Apéndice 2b, Fig. 3, y Tabla 4, muestras 6B, 6C, 6D y 7A). Si es así, podría sugerir una conexión genética entre las dos áreas (i.e. que quizás El Oro fue una vez parte de la Cordillera Real).

A más de lo anterior, varias edades de minerales (muscovita y biotita) de K-Ar discordantes más jóvenes han sido obtenidas de la subdivisión Tres Lagunas, y éstas son discutidas en la Sección 2.6.

2.3.3b <u>Subdivisión Agoyán</u>

Esta subdivisión consiste esencialmente de paragneises y esquistos, los cuales están intimamente relacionados a la subdivisión Tres Lagunas. Están comunmente presentes muscovita ± clorita ± biotita. En el sur (Mapa 9) esta unidad está bien expuesta inmediatamente al oeste de Baños a lo largo de la carretera al Puyo en donde incluye anfibolitas menores. Está también presente en el valle Upano cerca de Zuñac (Apéndice 1f, Mapa 5) donde están presentes rocas esquistosas y gneísicas con granate y algunas de las cuales llevan albita post-cinemática.

En el norte (Mapa 8), cerca a Monte Olivo, la subdivisión Agoyán puede ser dividida en una unidad mapeable de paragneis con granate y muscovita en el este y al oeste en una unidad esquistosa que incluye cuarcitas y metapsamitas que contienen 'vetas' delgadas (10 cm de ancho) de serpentinita carbonatada con fucsita? de color verde brillante

(ver Capítulo 3). Estas últimas rocas están intercaladas, posiblemente tectónicamente, con las anfibolitas basálticas de la subdivisión Monte Olivo (Apéndice 1b y Mapa 1). A lo largo del margen occidental de la unidad gneísica, las zonas de granito-pegmatita que contienen turmalina, muscovita ± zoicita ± rutilo ocurren. Tentativamente éstas están correlacionadas con la subdivisión Tres Lagunas (Mapa 8) y las muestras recolectadas de esta faja son descritas por el Dr Fortey (Apéndice 4b).

2.3.3c Subdivisión Chiguinda

Anteriormente ésta fue referida como de la división semi-pelítica Loja y ocurre extensamente en la parte sur de la Cordillera Real. Al norte en la carretera de Gualaceo-Plan del Milagro ésta es remplazada a lo largo del rumbo por la división Salado (ver Mapa 9) pero la edad precisa y, las relaciones estructurales entre estas unidades son inciertas.

Las observaciones de campo realizadas a lo largo de la margen occidental del batolito Zamora (Apéndice 1e, Mapa 4) sugieren que la subdivisión Chiguinda está intruida por este plutón Jurásico Inferior a Superior. Sin embargo, palinomorfos pobremente preservados pueden indicar una edad algo más joven de límite Jurásico/Cretácico (Apéndice 5b).

Dominantemente la división consiste de rocas semi-pelíticas pero también incluyen horizontes verdes pálidos, posiblemente tobáceos, y rocas verdes ('greenstones') menores (Apéndice 1d, Mapa 3, travesía Jimbilla-Río Quimi).

2.3.3d Subdivisión Sabanilla

Esta subdivisión solamente ha sido reconocida en el extremo sur este de la Cordillera Real (ver Mapa 8, en Litherland, 1989) y es una unidad compleja que está compuesta principalmente de ortogneís pero también incluye zonas de migmatitas, paragneises, anfibolitas y pegmatitas de muscovita ± biotita. El grado metamórfico de la unidad varía de medio a alto, los granates son comunes pero está presente estaurolita y, algunos paragneises llevan sillimanita y/o cianita (Apéndice 4a, FV44, FV45).

2.3.3di Geoquímica de los ortogneises de la subdivisión Sabanilla

Ocho análisis de roca total de dos metaplutones en la subdivisión Sabanilla son listados en Apéndice 3. El metaplutón Valladolid (ortogneís) está localizado al norte de Valladolid a lo largo de la carretera principal a Yangana en el área de Quebrada Honda. El metapluton Sabanilla (en parte migmatítico) aflora a lo largo de la orilla oeste del Río Zamora al norte de la Quebrada La Rábida (Mapa 8, en Litherland, 1989).

Como puede ser observado de los análisis, estos plutones son ricos en SiO_2 ($>$ 71 % en peso) pero composicionalmente ellos parecen ser algo más variables que aquellos de la subdivisión Tres Lagunas. A pesar de esta variación y además de su aspecto en el campo es diferente, cuando estos análisis son ploteados en la Fig. 2 ellos caen dentro del campo de tipo-S sugiriendo una posible conexión genética entre estas dos subdivisiones.

Relaciones iniciales ($^{87}Sr/^{86}Sr$) obtenidas de estos plutones (ver además Apéndice 3, en Litherland, 1988), aunque basado en 'errorchrons' (ver abajo), fluctúan de 0.7088 para el metapluton Valladolid a 0.711 para el metapluton Sabanilla y sugerirían que la contaminación de la corteza continental fue un factor importante en su génesis.

2.3.3dii Geocronología de la subdivisión Sabanilla

Varios intentos para datar la subdivisión Sabanilla han sido hechos usando los métodos K-Ar, Rb-Sr (roca total) y Sm-Nd (granate). Sin excepción los resultados K-Ar obtenidos son considerados de ser reajustados y éstos serán discutidos más adelante en la Sección 2.6. Igualmente los resultados Sm-Nd y Rb-Sr obtenidos de las muestras recolectadas en el área Valladolid no produjeron datos satisfactorios (Apéndice 2b).

Aunque edades isocronas de Rb-Sr no han sido obtenidas del metaplutón Sabanilla las siguientes edades de 'errorchrons' (Apéndice 2b, este informe; Apéndice 3, en Litherland, 1988) de 198 $\pm$ 45 Ma (MSWD 25.3); 233 $\pm$ 51 Ma (MSWD 175.4) y 234 $\pm$ 19 Ma (MSWD 20.6) y 224 $\pm$ 37 Ma (MSWD 108.6, edades combinadas de Rundle y Harrison, 18 puntos) tienen una cierta consistencia y sugieren que estas rocas fueron afectadas por un importante evento termal c. 220 Ma.

2.3.3e Subdivisión Monte Olivo

Esta subdivisión está presente solo en el norte de la Cordillera Real (Mapa 8) y consiste de anfibolitas basálticas. La evidencia de campo sugiere que estas rocas están intercaladas, posiblemente tectonicamente, con un paquete de metapsamitas de la subdivisión Agoyán.

2.3.4 División Salado

Esta división consiste de batolitos foliados, alcalinos cálcicos y una secuencia metavolcano-sedimentaria. Está ampliamente distribuida especialmente en la parte norte de la Cordillera Real, de la frontera con Colombia a 3°S, hacia el sur aparentemente está remplazada por la subdivisión Chiguinda.

2.3.4a Subdivisión Santa Bárbara

Esta subdivisión está restringida al noreste de la cordillera, cerca de la frontera con Colombia (Mapa 8). Consiste de gneises de grano fino a medio con biotita ± hornblenda que están bandeados en lugares y posiblemente representan tobas cálcicas metamorfoseadas.

2.3.4b Subdivisión Azafrán

Esta subdivisión comprende plutones foliados alcalinos cálcicos, incluye el batolito Azafrán, que está expuesto a lo largo de la carretera Baños-Puyo (Mapa 9), los plutones de Chingual/Sacha y posiblemente el granito Condue, cerca de la frontera con Colombia (Mapa 8).

2.3.4bi Geoquímica de la subdivisión Azafrán

Los análisis de roca total de seis muestras obtenidas del batolito Azafrán en la carretera Baños son listados en el Apéndice 3. Aunque basados en las relaciones Na2O/K2O estas muestras son probablemente granitos (monzogranitos?), las observaciones de campo sugieren que la subdivisión está dominada por granodiorita biotítica ± hornblenda la que frecuentemente contiene zenolitos máficos y esquistos. También están presentes dioritas, gabros y hornblenditas.

2.3.4bii Geocronología de la subdivisión Azafrán

Los intentos para datar el plutón Chingual (ortogneís) y el batolito Azafrán no han sido completamente exitosos. Las edades de 'errorchrons' Rb/Sr obtenidas para Chingual (Apéndice 3, en Litherland, 1988) dio 146 ± 58 Ma (MSWD 8.2) y, omitiendo los dos puntos más lejanos, 156 ± 21 Ma (MSWD 2.8). En contraste, un isocrono de siete puntos obtenido del batolito Azafrán dio una edad de 120 ± 5 Ma (MSWD 2.4); las relaciones iniciales de 87Sr/86Sr obtenidas de estos plutones varían de 0.7037 (Chingual) a 0.7067 (Azafrán).

A pesar del hecho de que un isocrono fue obtenido del batolito Azafrán esta edad no es enteramente satisfactoria porque en cualquier lugar en la cordillera, y además al norte en Colombia (Aspden et al., 1987), los grandes batolitos alcalinos cálcicos de esta edad son desconocidos. Adicional a esto está el hecho que hacia el oeste a lo largo de la carretera Baños, en el Río Verde dos muestras de diorita con hornblenda y biotita recogidas del afloramiento dieron edades K/Ar de: 128 ± 4 Ma (Hb) 125 ± 4 Ma (Bi) y 175 ± 5 Ma (Hb) 176 ± 5 Ma (Bi) (ver muestras 10A y 10B, Apéndice 8, en Litherland, 1989). Además una muestra rodada de hornblendita del Río Verde produjo una edad K/Ar de 171 ± 5 Ma (Hb) (ver muestra ADML1, Apéndice 4, en Litherland, 1987).

Tomando los datos K/Ar juntos parece que las rocas del Río Verde, las que interpretamos como parte del batolito Azafrán, están registrando un evento mayor (i.e. c. 175Ma) y un evento más joven (i.e. c. 128 Ma). Las muestras 10A y 10B fueron recogidas apartadas solamente pocos metros pero la reexaminación de este sitio aclaró que 10A vino de una zona afectada por cizallamiento mientras que 10B fue aparentemente masiva y ningún signo de alteración pudo ser detectado de hornblenda o biotita en especimenes de mano. Basados en estas observaciones parece razonable concluir que la edad más antigua obtenida de Río Verde pudo ser una edad magmática mientras que la edad más joven es reajustada y probablemente se relaciona a un evento de cizallamiento que afectó al batolito Azafrán.

Si estas deducciones son correctas, entonces se concluye que la edad isocrona de 120 ± 5 Ma obtenida para el batolito Azafrán no es una edad magmática, pero también fue reajustada por el evento de cizallamiento regional. En un intento para confirmar estas hipótesis se necesita llevar a cabo estudios geocronológicos más detallados. Una muestra para datación de circón fue recogida en el batolito Azafrán pero desafortunadamente ésta tiene que ser todavía tratada.

2.3.4c Subdivisión Upano

Esta subdivisión es nombrada así por las rocas que están expuestas a lo largo del camino que conduce hacia el oeste de Macas y sigue los sectores bajos del Río Upano (Apéndice 1f, Mapas 5 y 9). Consiste de una secuencia mixta metavolcano-sedimentaria que incluye metalavas, metavolcánoclásticos (metatobas y aglomerados), metagrauvacas y mármoles menores. También están presentes cuarcitas impuras y filitas negras ± grafito. La subdivisión tipicamente consiste de esquistos verdes pero también puede incluir algunas anfibolitas. Se asume, pero no esta probado, que estas rocas son de edad equivalente a las rocas metaplutónicas de la división Salado (i.e. Jurásica) pero una edad más antigua no puede ser descartada.

2.3.4d Subdivisión Cerro Hermoso

Las características de la secuencia de Cerro Hermoso, por las cuales esta subdivisión lleva su nombre, están dadas en Litherland (1986, p. 19) (ver además Litherland et al., 1990). Estas rocas están geograficamente restringidas y en este informe están confinadas a una faja angosta de contacto fallado de filitas negras piríticas que ocurren al oeste de Baños entre las subdivisiones de Agoyán y Azafrán (Mapa 9).

2.3.5 División Zamora

Esta división es esencialmente no foliada y ocurre hacia el límite oeste de lo que es considerado como el límite aproximado al cratón Amazónico. Consiste principalmente de los batolitos alcalinos cálcicos Jurásicos Inferiores-Jurásicos Superiores (subdivisión Abitagua) y lo que es considerado para representar sus equivalentes volcánicos (subdivisión Misahuallí). En el sur también incluye una faja de rocas metamórficas de grado bajo que están intruidas por y, ocurren como grandes bloques dentro, del batolito Zamora/Río Mayo (subdivisión Isimanchi) (Litherland et al., 1990; Mapa 8, en Litherland, 1989). Estas últimas rocas no son discutidas en este informe.

2.3.5a Subdivisión Abitagua

Esta comprende batolitos no foliados, alcalinos cálcicos, que incluyen de norte a sur los batolitos La Bonita y Rosa Florida (Mapa 8), el batolito Abitagua (Baldock, 1982 y Mapa 9) y el batolito Zamora/Río Mayo (Mapa 8, en Litherland, 1989).

2.3.5ai Geoquímica de la subdivisión Abitagua

Observaciones de campo indican que estos batolitos muestran un rango de composición típico de la mayoría de los batolitos alcalinos cálcicos. Aunque ocurren granitos y posiblemente sienogranitos, granodioritas biotíticas ± hornblenda y cuarzos monzodioritas/dioritas tienden a ser dominantes. En el Apéndice 3, están listados 19 análisis de roca total de los batolitos Abitagua y Zamora (ver además Fig. 2).

2.3.5aii Geocronología de la subdivisión Abitagua

Antes del Proyecto Cordillera Real, relativamente pocas determinaciones de edades radiométricas estaban disponibles para las rocas plutónicas de la subdivisión Abitagua.

Kennerley (1980) reportó tres edades minerales K/Ar de 152 ± 4 Ma (K-feldespato), 173 ± 5 Ma (hornblenda) y 180 ± 5 Ma (biotita) para una sola muestra del batolito Río Mayo (ahora considerado como parte del batolito Zamora). Tambien Aly (1980) obtuvo una edad K/Ar de 171 ± 6 Ma del batolito Zamora. Una edad isocrona de 3 puntos de roca total Rb-Sr de 173 ± 5 Ma fue obtenida por Halpern (citado en Hall y Calle, 1982) para el batolito Abitagua y una edad K/Ar (biotita) de 178 ± 7 Ma fue reportada por Herbert (1977). Además Kennerley cita una edad (biotita) K/Ar más joven de 87 ± 7 Ma que fue obtenida para una muestra recogida al extremo sur del batolito Abitagua a lo largo de la carretera Baños-Puyo.

Durante el proyecto varias rocas plutónicas de los batolitos de Zamora y Abitagua han sido datadas. Edades isocronas Rb/Sr de roca total obtenidas del batolito Abitagua han dado las siguientes edades: 161 ± 2 Ma (MSWD 0.9) (9 puntos); 163 ± 2 Ma (MSWD 2.5) (7 puntos) y 162 ± 1Ma (MSWD 2.5) (datos combinados, 16 puntos) (ver Apéndice 3, en Litherland, 1988). La relación inicial ($^{87}Sr/^{86}Sr$) para estos isocronos varían de 0.7046 ± 4 a 0.70459 ± 3 y son típicos de aquellos valores asociados con las magmas de tipo-I de zonas de subducción. Algunas determinaciones minerales K/Ar han sido llevadas a cabo en muestras del batolito Abitagua. Sin embargo, las fases máficas, en particular las biotitas, fueron frecuentemente cloritisadas y por lo tanto produjeron edades menores cuando se las compara con los resultados Rb/Sr. A pesar de esto, la muestra 6A dio resultados K/Ar (Hb) duplicados de 152 ± 7 Ma y 164 ± 10 Ma pero edades de biotita significantemente más jóvenes de 125 ± 12 Ma y 128 ± 9 Ma (Apéndice 8, en Litherland, 1989). Además un bloque rodado recogido en el Río Zuñag, que drena el batolito Abitagua en el sur, dio una edad K/Ar (Hb) de 171 ± 5 Ma (Apéndice 4, en Litherland, 1987).

TABLE 2 ZAMORA / RIO MAYO BATHOLITH K/Ar MINERAL AGES FOR PLUTONIC ROCKS
(TABLA 2 BATOLITO ZAMORA / RIO MAYO EDADES MINERALES K/Ar PARA ROCAS PLUTONICAS)

Muestra No.	Mineral	% K ± % Sd	Atm 40 Ar %	Rad 40 Ar ± % Sd (nl/g)	Edad ± 2 Sd (Ma)
FV 60	Hb	0.570	35.7	3.49	151 ± 5
16 C	Hb	0.371 ± 1.0	88.5	2.009 ± 8.1	134 ± 21
16 H	Hb	0.289 ± 1.0	71.8	2.107 ± 2.8	178 ± 10
17	Hb	0.227 ± 2.4	40.6	1.776 ± 1.5	191 ± 10
19	Hb	0.205 ± 1.0	50.2	1.581 ± 1.5	188 ± 6
20	Hb	0.591 ± 1.0	40.1 *	4.356 ± 1.2	126 ± 4] 126.5
			18.5 *	4.398 ± 1.0	127 ± 4
	Bi	2.34 ± 1.0	37.3 *	15.77 ± 1.2	166 ± 5] 168.5
			38.0 *	16.35 ± 1.2	171 ± 5
21 A	Hb	0.99 ± 2.8	64.0	6.134 ± 2.2	153 ± 10
	Bi	3.93 ± 1.0	25.7	24.32 ± 1.1	153 ± 4
21 G	Hb	0.971 ± 4.0	45.6	6.036 ± 1.3	153 ± 12
	Bi	5.16 ± 1.0	25.3	32.78 ± 1.1	156 ± 5
22 B	Bi	4.70 ± 1.0	20.8	34.20 ± 1.1	178 ± 5
22 E	Hb	0.32 ± 2.0	64.2	2.363 ± 3.3	181 ± 14
13 A	Hb	0.17	63.96	1.331	193 ± 9
13b	Hb	0.16	81.95	1.230	187 ± 17
RM1	Hb	0.593	59.3	3.161 ± 1.8	132 ± 5
	Bi	4.64	15.9	19.29 ± 1.0	104 ± 3
485	Hb	0.481	37.6	3.247 ± 1.2	166 ± 5
	Bi	4.04	52.0	28.73 ± 1.5	174 ± 6
681	Hb	0.916	22.5	5.708 ± 1.0	153 ± 5
	Bi	5.67	23.5	34.53 ± 1.1	150 ± 4
26 B	Hb	0.499 ± 1.0	78.8	3.562 ± 3.9	175 ± 14
	Bi	4.19 ± 1.0	24.1	29.34 ± 1.1	172 ± 5
26 C	Hb	0.549 ± 1.0	78.6	4.172 ± 3.9	186 ± 14
	Bi	5.21 ± 1.2	38.7	39.87 ± 1.2	187 ± 6
26 E	Hb	0.375 ± 1.0	78.0	2.688 ± 3.8	176 ± 13
	Bi	2.13 ± 1.0	34.1	15.53 ± 1.1	178 ± 5

* Repeat analyses (análisis repetidos)

Hb = Hornblende (Hornblenda)

Bi = Biotite (Biotita)

RADIOMETRIC AGE DETERMINATIONS (K/Ar AND Rb/Sr) OF PLUTONIC ROCKS FROM THE ABITAGUA AND ZAMORA BATHOLITHS

(EDADES RADIOMETRICAS DE K/Ar Y Rb/Sr DE LAS ROCAS PLUTONICAS DE LOS BATOLITOS DE ABITAGUA Y ZAMORA)

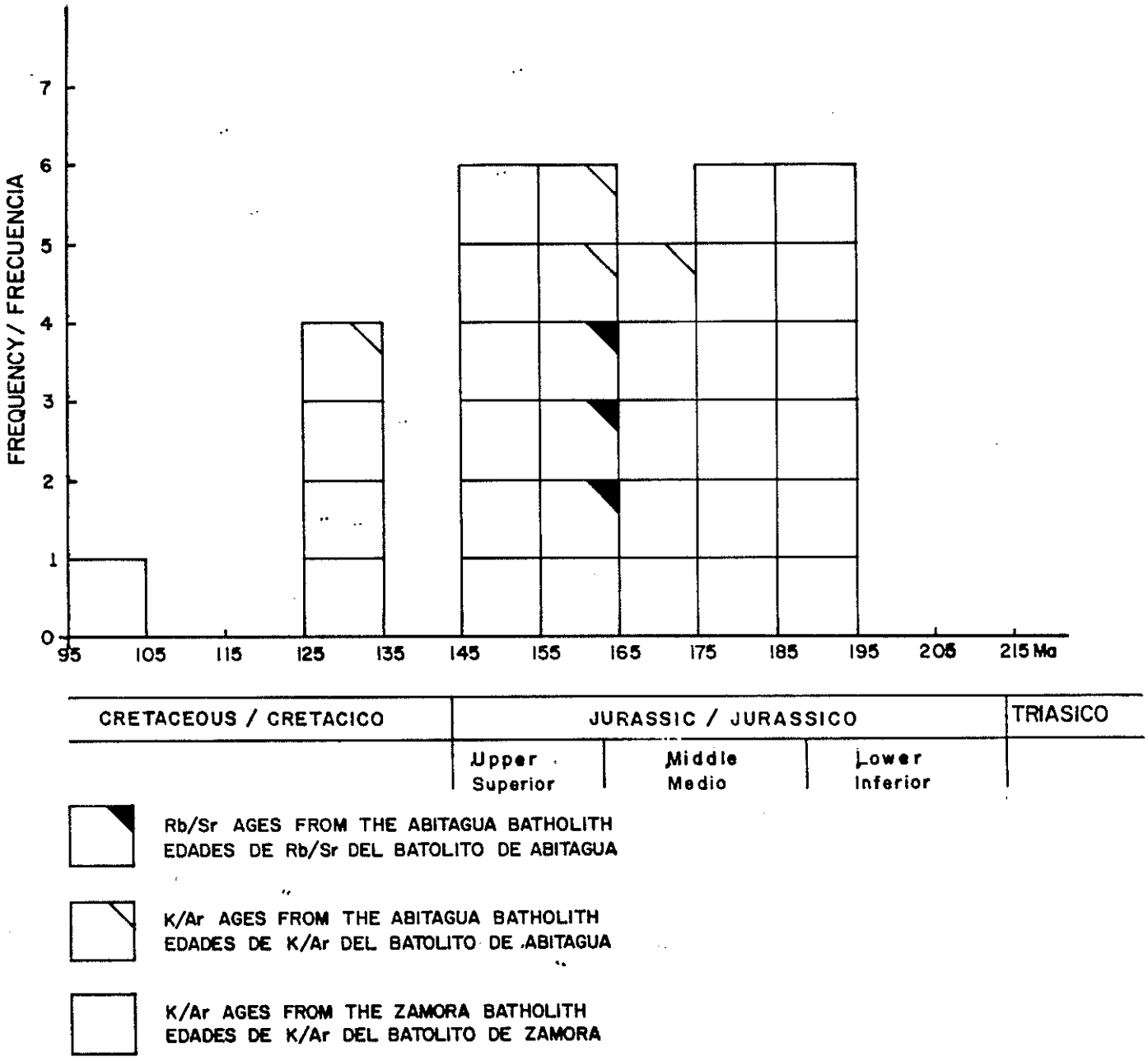


Fig: Nº3

En contraste con el batolito Abitagua, donde el método de roca total Rb/Sr fue completamente exitoso, los análisis obtenidos del batolito Zamora fallaron para producir un isocrono (Apéndice 3, en Litherland, 1988). A pesar de esto, un gran número de edades minerales K/Ar han sido obtenidas de este batolito y están listadas en la Tabla 2. Como se puede ver, algunas de estas muestras producen edades minerales concordantes de hornblenda y biotita y puesto que el plutón es no deformado éstas son tomadas para representar las edades magmáticas de enfríamiento. Las excepciones a esta observación general son las muestras RM1 y 20 que produjeron edades discordantes de hornblenda/biotita de 132 ± 5 Ma (Hb); 104 ± 3 Ma (Bi) y 126.5 ±4(Hb); 168.5 ± 5 (Bi) respectivamente, y la muestra 16C que dio una edad joven, aunque con un error alto, de 134 ± 21 Ma (Tabla 2). Todas las edades plutónicas obtenidas por el proyecto de los batolitos de Zamora y Abitagua han sido ploteadas en forma de histograma en la Fig. 3. Basados en estos datos se concluye que la edad de estos plutones van desde el Jurásico Inferior al Jurásico Superior y que el plutonismo mayor cesó c. 150 Ma (ver Tabla 2). Las edades jovenes de entre 125-135 Ma y 95-105 Ma son consideradas de ser reajustadas y nos referiremos a ellas más tarde en la Sección 2.6.

2.3.5b Subdivisión Misahuallí

Esta subdivisión consiste de una secuencia continental de lavas no foliadas, las que incluyen andesitas, dacitas, riolitas, basaltos, tobas y aglomerados, y esta interpretada para representar los productos volcánicos de la subdivisión plutónica Abitagua. En el norte, la evidencia de campo sugiere que hay una transición litológica a través de la zona subandina dentro de la subdivisión Upano, deformada, marina volcano-sedimentaria, la cual al menos en parte, se piensa que representa los equivalentes de las facies laterales occidentales (Mapa 3).

Sin embargo, al sur y al este hay evidencia, a lo largo de la nueva ruta que va de Mendez a Santiago, que la Fm. Santiago es en realidad interestratificada con los sedimentos tobáceos turbidíticos que han sido previamente asignados a la Fm. Chapiza (Tschopp, 1953). Esta observación indica que durante la sedimentación Santiago (tiempo Sinemuriano) y antes de la intrusión de la subdivisión Abitagua, la actividad volcánica estuvo distribuída en esta parte del Ecuador. Por lo tanto es completamente posible que la subdivisión Misahuallí (por esta razón y por analogía la subdivisión Upano) incluye también rocas más antiguas de la subdivisión Abitagua.

2.3.5bi Geocronología de la subdivisión Misahuallí

Pocas determinaciones de edades radiométricas son disponibles para la subdivisión Misahuallí. La evidencia indirecta para su edad viene de las edades minerales (K/Ar) obtenidas de dos diques de andesitas hornbléndicas en los batolitos Abitagua y Zamora; la muestra 7 dio dos edades duplicadas de 168 ± 4 Ma y 174 ± 8 Ma y la muestra 25 143 ± 7 Ma, una muestra rodada de una andesita porfirítica con hornblenda, recogida en la Quebrada Curishpe, que drena la parte oeste del batolito Zamora al sur de La Paz (ver Mapa 8, en Litherland, 1989), dio edades duplicadas de hornblenda de 230 ± 14 Ma y 214 ± 23 Ma (ver Apéndice 8, en Litherland, 1989). Una edad K/Ar de roca total de 72 ± 9 Ma ha sido también obtenida de andesitas que afloran al SE de Zumba cerca de la Quebrada de San Francisco y la frontera con el Perú (ver Mapa 8, en Litherland, 1989, y Apéndice 2c de este informe, muestra 18).

La interpretación de los datos anteriores es algo difícil porque los puntos de muestreo son muy pocos y están ampliamente distribuídos. Sin embargo, como un comentario general, en el área de la Quebrada San Francisco se puede ver que los volcánicos están superpuestos por la Fm. Cretácea Inferior Hollín, por lo tanto, mientras la posibilidad del volcanismo del Cretácico Superior no puede ser descartado pero es improbable que estuvo ampliamente distribuído en esta zona.

2.4 GEOLOGIA DE LAS ROCAS CRETACICAS DE LA CORDILLERA REAL

2.4.1 Sedimentos cretácicas de las Formaciones Hollín, Napo y Tena

Estas formaciones están restringidas a los flancos orientales de la Cordillera Real y descripciones litológicas completas son dadas por Tschopp (1953) y Baldock (1982).

En el norte (Mapa 8) estas rocas ocurren al este de la falla Rosa Florida y en el Río Cofanes la Fm. Napo está sobrecorrida al este sobre la más joven Fm. Tena (Maestrichtiano-Paleoceno Inferior?).

Hacia el sur los 'duplexes' de Napo/Hollín están bien expuestos al oeste de Sucúa a lo largo del Río Tutunangoza (Mapa 9). Aproximadamente a dos kilómetros al este del Río Nayembayme, en un afloramiento continuo de más o menos 50-70 m. con cinco repeticiones de las areniscas de la

Fm. Hollín, las que estructuralmente yacen sobre las lutitas negras de la Fm. Napo pueden ser notadas (Apéndice 1j y Mapa 7). Este corrimiento se piensa también que envuelve a la Fm. Tena pero hasta que se obtenga un control paleontológico bueno la presencia de las rocas más antiguas no puede ser excluida.

Hacia el oeste, a lo largo del mismo río, aflora otro 'duplex' de Hollín/Napo pobremente expuesto. De manera significativa estas rocas están solo deformadas moderadamente y metamorfoseadas débilmente. Sin embargo, ellas están separadas del afloramiento Cretácico más oriental por un filón de corrimiento de un ancho de 2-3 km. de esquistos verdes fuertemente deformados de la subdivisión Upano. Esta observación sostiene fuertemente que un evento metamórfico/tectónico regional pre-Hollín afectó la Cordillera Real. Esto contradice los puntos expresados por Feininger (1975, 1982) que el evento metamórfico principal ocurrió durante el periodo Cretácico Superior y que el protolito representa los equivalentes laterales (occidentales) de las Formaciones Hollín y Napo.

Inmediatamente al norte del Río Tutunangoza un patrón complejo de repeticiones de los afloramientos de Hollín y (?) Tena han sido mapeados en los ríos Miriumi y Cuyataza por P. Townsend de B.P. Development Ltda. (ver además Mapa 9). En esta área parece que la Fm. Hollín es sobrecorrida hacia el este sobre la Fm. Tena pero este contacto fue más tarde plegado por niveles de corrimientos más profundos los que todavía estuvieron generándose en la zona subandina (Townsend, comentario personal).

Al este de la sección del Río Upano, al oeste de Macas, una faja angosta de la Fm. Napo es indicada en el Mapa 9. Debería recordarse que en el mapa geológico de Macas 1:100.000 (Lascano et al., 1989) recientemente publicado, ésta es incluida dentro de la Fm. Abanico. Sin embargo, basados en correlación litológica y en el hecho de que el grado de metamorfismo de estas rocas es muy bajo comparado con el de la subdivisión Upano inmediatamente al oeste, preferimos incluirlas en la Fm. Napo.

2.4.2 Intrusivos cretácicos y complejos máficos

Relativamente pocos intrusivos de esta edad están presentes dentro de la Cordillera Real.

2.4.2a Plutón Pimampiro

El plutón Pimampiro, que esta fallado a lo largo de su margen oriental, consiste de granodiorita porfirítica hornbléndica ± biotita y presenta bandeamiento de flujo. Las siguientes edades de minerales K/Ar han sido obtenidas de la intrusión: muestra 1A, 80 ± 4.5 Ma (Hb) y 84 ± 3 Ma (Bi); muestra 1C, 92.5 ±3.5 Ma (Hb) y 73 ± 3 Ma (Bi) (Apéndice 8, en Litherland, 1989).

Además Evernden (1961) reportó una edad K/Ar de 72 Ma de Pimampiro. Estos datos indican una edad Cretácica Superior para el plutón pero sugieren que éste ha sido posiblemente afectado por una sobreimpresión termal tardía que contaría para la edad discordante de biotita joven registrada de la muestra 1C. (N. B. muestra 1B, en Apéndice 8 es una muestra rodada de muscovita pegmatítica recogida en el Río Chota. Se pensó que ha sido derivada de la subdivisión Tres Lagunas (Lt en el Mapa 8). La edad K/Ar de 60 ± 2 Ma (Musc) es considerada para ser reajustada).

2.4.2b Area Magtayán

Esta área no ha sido estudiada detalladamente por el proyecto pero parece que están presentes plutones granodioríticos a tonalíticos y también cuerpos máficos/ultramáficos, ricos en hornblenda (Sosa et al., 1975; Kennerley, 1980; D. Benalcázar, comentario personal).

En 1987, el área de Magtayán fue visitada por el proyecto y se recogieron varias muestras rodadas para análisis de K/Ar. Las muestras 13A y 13C consisten de tonalitas/-dioritas con hornblenda ± biotita y se asume que han sido derivadas del plutón Magtayán, mientras que 13B, un gabro pegmatítico hornblendítico, puede ser derivado de los cuerpos ricos en hornblenda los cuales, de acuerdo a D. Benalcázar (comentario personal), también afloran en el área (Mapa 9). Obviamente un muestreo más detallado de los afloramientos actuales necesita ser llevado a cabo, pero si las inferencias anteriores son correctas, entonces el plutón Magtayán es probablemente Cretácico Superior, porque las muestras 13A y 13C produjeron edades de 74 ± 3 Ma (Hb) y 68 ± 5 Ma (Bi) y 79 ± 3 Ma (Hb). El gabro pegmatítico (13B) también dio una edad del Cretácico Superior, pero ligeramente más antigua, (87.5 ± 4.5 Ma, Apéndice 8, en Litherland, 1989), y está de acuerdo con el reportado por Kennerley (1980) de 85 ± 3 Ma para hornblendita del área de Magtayán.

2.4.2c Complejo máfico/ultramáfico Tampanchi

Los complejos máficos/ultramáficos dentro de la subdivisión Alao-Paute fueron reconocidos primero en el área de Tampanchi, al este de Azogues (ver Litherland, 1988, p. 13 y 1989, p. 7). 21 láminas delgadas de rocas recolectadas de este complejo fueron examinadas por el Dr Fortey y sus resultados están incluidos en el Apéndice 4b. Dos análisis de roca total del complejo Tampanchi están listados en el Apéndice 3.

A más de los estudios petrográficos, se obtuvieron tres edades de K/Ar de este complejo por el Dr Harrison (Apéndice 2b). Las muestras 17A y 17B que consisten de gabro hornblendítico y una facie de hornblenda y plagioclasa pegmatítica, produjeron edades minerales de 65.7 ± 3 Ma y 61.2 ± 4 Ma respectivamente y la muestra 17C, un basalto de grano fino, rico en hornblenda, dio una edad de roca total de 60.6 ± 10 Ma. De acuerdo al Dr Fortey, el complejo Tampanchi no es metamorfoseado y relativamente no deformado y de aquí estos datos son apropiados para reflejar las edades magmáticas de enfriamiento. Ellas son sin embargo, significativamente más jóvenes (c. 25 Ma) que las registradas en el área Magtayán (Sección 2.4.2b).

2.4.2d Otros complejos máficos/ultramáficos

Hornblenditas y/o gabros muy similares a los de Tampanchi. afloran cerca del pequeño poblado de El Azul y también ocurren en bloques rodados en dos tributarios sin nombres a la orilla sur del Río Upano, al oeste de Zuñag (Mapa 9). Están también presentes bloques de hornblendita y gabro al oeste de Paute sobre el poblado de Shumir, en el área alrededor de 7450-9692 (hoja topográfica de Azogues 1:50.000, L. Quevedo comentario personal).

La aparente restricción de estos complejos a la subdivisión Alao-Paute y su último origen permanece incierto.

2.4.3 Sedimentos terciarios

En el Mapa 9 están indicadas dos unidades terciarias sedimentarias. La Fm. Arajuno Miocena, que está limitada al oriente, ha sido descrita por Tschopp (1953) y subsecuentemente por Mortimer et al., (1980). De acuerdo con estos últimos autores la Fm. Arajuno está en contacto fallado, pero estructuralmente yace debajo, de la Fm. Tena al oeste.

Las areniscas de Atillo, localizadas cerca de la laguna de Atillo (Mapa 9), no han sido reconocidas previamente. La secuencia consiste de canales fluviales de areniscas y limolitas que contienen horizontes carbonáceos ricos. Un fósil de pescado bien preservado fue descubierto en esta secuencia y un informe completo realizado por el Dr Patterson sobre este descubrimiento está incluido como Apéndice 5c. La edad precisa de las areniscas de Atillo todavía está en duda, pero a partir de como lo señaló el Dr Patterson, fósiles similares han sido descritos de las Formaciones Miocenicas de Loyola y Mangán en la cuenca de Cuenca al sur (Bristow, 1973; Roberts, 1975, entonces lo más probable parecería ser una edad Miocénica.

2.4.4 Intrusivos terciarios menores

A través de toda la Cordillera Real un número de stocks/plutones no deformados y post-tectónicos principalmente de composición granodiorítica han sido identificados (ver Informes Anuales anteriores y Litherland et al., 1990). En el área cubierta en el Mapa 9, han sido datados tres plutones: Pungalá (45 ± 4 Ma - 42 ± 2 Ma, Apéndice 8, Litherland, 1989) el stock pequeño sin nombre a lo largo de la carretera Gualaceo-Plan del Milagro (39 ± 4 Ma, Apéndice 4, FV83, en Litherland, 1987) y el plutón Amaluza (34 ± 1 - 49 ± 2 Ma, Kennerley 1980; Herbert y Pichler, 1983).

El plutón Salado (Mapa 9) no ha sido datado pero ya que no está aparentemente deformado se asume que pertenece al Terciario Inferior. Una edad más antigua no puede ser excluida enteramente.

En el norte (Mapa 8) el plutón Azuela puede ser de esta edad.

2.4.5 Stocks porfíricos

Un número de stocks porfíricos pequeños, no deformados, están presentes cerca del frente Baños en la parte sur del Mapa 9. No son conocidas las edades de estas intrusiones pero probablemente son Terciarias Superiores.

2.4.6 Depósitos volcánicos cenozoicos

Estos depósitos están ampliamente distribuidos especialmente a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Real. Ellos incluyen tobas, lavas, aglomerados y los centros volcánicos principales de Tungurahua, Altar y Sangay.

También están indicados en el Mapa 9 en el sur algunos cuellos volcánicos pequeños.

Estos depósitos no han sido estudiados por el Proyecto pero regionalmente es de interés anotar que el Tungurahua, Altar y Sangay están alineados y aparentemente controlados por el frente Baños (Mapa 9).

2.5 ESTRUCTURA

Un corte estructural transversal de la Cordillera Real fue presentado en Litherland, 1989 (Fig. 2) pero estudios detallados, tienen todavía que ser efectuados.

La ocurrencia de 'horses' (en el sentido de Butler, 1983), de los lentes/cuñas con contactos fallados, y la alternación de fajas de clivaje plano y subvertical parecerían ser consistentes con un modelo de mantos/lentes tectónicos de corrimiento imbricado. Sin embargo, es aparente que las milonitas de tipo S-C 1 (Lister and Snoke, 1984) son comunes dentro de las subdivisiones plutónicas más antiguas de la Cordillera Real (e.g. Azafrán y Tres Lagunas). También las lineaciones de minerales, por ejemplo dentro de la subdivisión Azafrán a lo largo de la carretera Baños, son generalmente sub-horizontales o suavemente moderadas, con frecuencia con buzamiento hacia el sur, sugeriría que la transpresión ha sido un factor muy importante en la deformación de la cordillera. La evidencia preliminar de las láminas delgadas indica que los movimientos fueron esencialmente dextrales.

En contraste, a lo largo del frente Baños al sur de Sigsig, lineaciones con buzamientos hacia el oeste y noroeste y, estructuras de ojos asimétricos proveen buena evidencia para compresión 'simple' y, el sobrecorrimiento de la subdivisión Alao-Paute de ONO sobre la subdivisión Tres Lagunas al ESE.

2.6 EDADES RADIOMETRICAS REAJUSTADAS DE LA CORDILLERA REAL

La Sección 2 intenta haber sumarizado la evidencia geocronológica que ha sido obtenida de las diversas subdivisiones reconocidas dentro de la Cordillera Real. Sin embargo, al igual a los intentos anteriores, (ver Litherland, 1987, el sumario) nuestros esfuerzos para obtener lo que creemos representan las edades originales y/o del metamorfismo original no han sido completamente exitosas. En particular un gran número de determinaciones de minerales utilizando el método de K/Ar dan constantemente edades más jóvenes

cuando están comparadas con las de Rb/Sr y Sm/Nd y éstas están interpretadas para reflejar reajustes subsecuentes por eventos termales posteriores.

2.6.1 Subdivisión Sabanilla

Las edades de 'errorchrons' de roca total Rb/Sr obtenidas de esta subdivisión sugieren que un evento termal importante ocurrió en la Cordillera Real entre c. 200-230 Ma (ver 2.3.3d y Apéndice 2b). Sin embargo, las edades minerales (K/Ar) (Tabla 3) son invariablemente más jóvenes y, con excepción de puntos los que están obviamente aislados, dan edades consistentes de entre c. 85-65 Ma (Fig. 4). Al contrario de lo que podría esperarse, puede ser visto también en la Tabla 3 que las edades de la muscovita en la división Sabanilla son más jóvenes que las obtenidas de la biotita.

2.6.2 Subdivisiones Tres Lagunas y Agoyán

Al momento la mejor estimación para la edad de la subdivisión Tres Lagunas es c. 200 Ma (ver 2.3.3a y Apéndice 2b). Se asume que el metamorfismo de la subdivisión Agoyán es de una edad similar. Debería notarse que las muestras del área de Papallacta (Apéndice 2b, muestra 1A; Apéndice 3, muestra 4, en Litherland, 1989) dieron edades de 324 ± 16.5 Ma (hornblenda) y 367 ± 9.5 Ma (hornblenda) y una edad promedio de biotita de 363 ± 32 Ma (Apéndice 2b, muestra 1B) que puede insinuar la presencia de un basamento metamórfico más antiguo en el área. A pesar de estas edades antiguas, han sido también notadas edades de minerales (K/Ar) más jóvenes obtenidas de estas dos subdivisiones y están listadas en la Tabla 4 y ploteadas en la Fig.5.

Examinando la Tabla 4 revela que en el caso de la subdivisión Tres Lagunas las edades de las muscovitas son consistentemente más antiguas que las edades de la biotita de la misma muestra y esto se nota especialmente en el caso de las muestras de Malacatos (muscovita) 98-99 Ma; (biotita) 63-64 Ma. Si uno supone que estas tres edades antiguas están parcialmente reajustadas, la mayoría de las otras edades caen dentro de 55-85 Ma. Esto es similar a, pero con un rango más joven y extendido que, 65-85 Ma indicado para la subdivisión Sabanilla.

TABLE 3 DISTURBED K/Ar MINERAL AGES FROM THE SABANILLA SUBDIVISION

(TABLA 3 EDADES MINERALES K/Ar REAJUSTADAS DE LA SUBDIVISION SABANILLA)

Sample (Muestra)	Mineral (Mineral)	Age (Edad)	Area (Area)
FV 57	Bi	83 ± 2	East/Este of/de Zamora, Loja road/ carretera
FV 58	Bi	97 ± 3	
23 D	Bi	82 ± 3	
23 E	Bi	82 ± 3	
23 F	Bi	82 ± 3	
12 A	Musc	65.7 ± 2	
	Bi	84.5 ± 3	
12 C	Musc	65.6 ± 2	
-	Bi	72 ± 2 *	
-	Bi	81 ± 2 *	
-	Bi	52 ± 2 **	
24 A	Hb	131.5 ± 7	Valladolid Area
	Bi	76 ± 3	
24 B	Musc	77 ± 3	
24 C	Musc	65 ± 2	
24 D	Bi	72 ± 2	
10 A	Musc	68.8 ± 2	
	Bi	84.7 ± 2	
10C	Musc	73.4 ± 3	
	Bi	81.8 ± 2	
10 D	Bi	81.8 ± 2	

Data sources:- Appendix 4, in Litherland, 1987
(Datos de: Appendix 8, in Litherland, 1989
Appendix 2b, in the report

* Kennerley, 1980
** Baldock, 1982

Bi = Biotite (Biotita)
Musc = Muscovite (Muscovita)
Hb = Hornblende (Hornblenda)

DISTURBED/RESET K/Ar MINERAL AGES FOR THE SABANILLA SUBDIVISION
(EDADES RADIOMETRICAS K/Ar REAJUSTADAS DE LA SUBDIVISION SABANILLA)

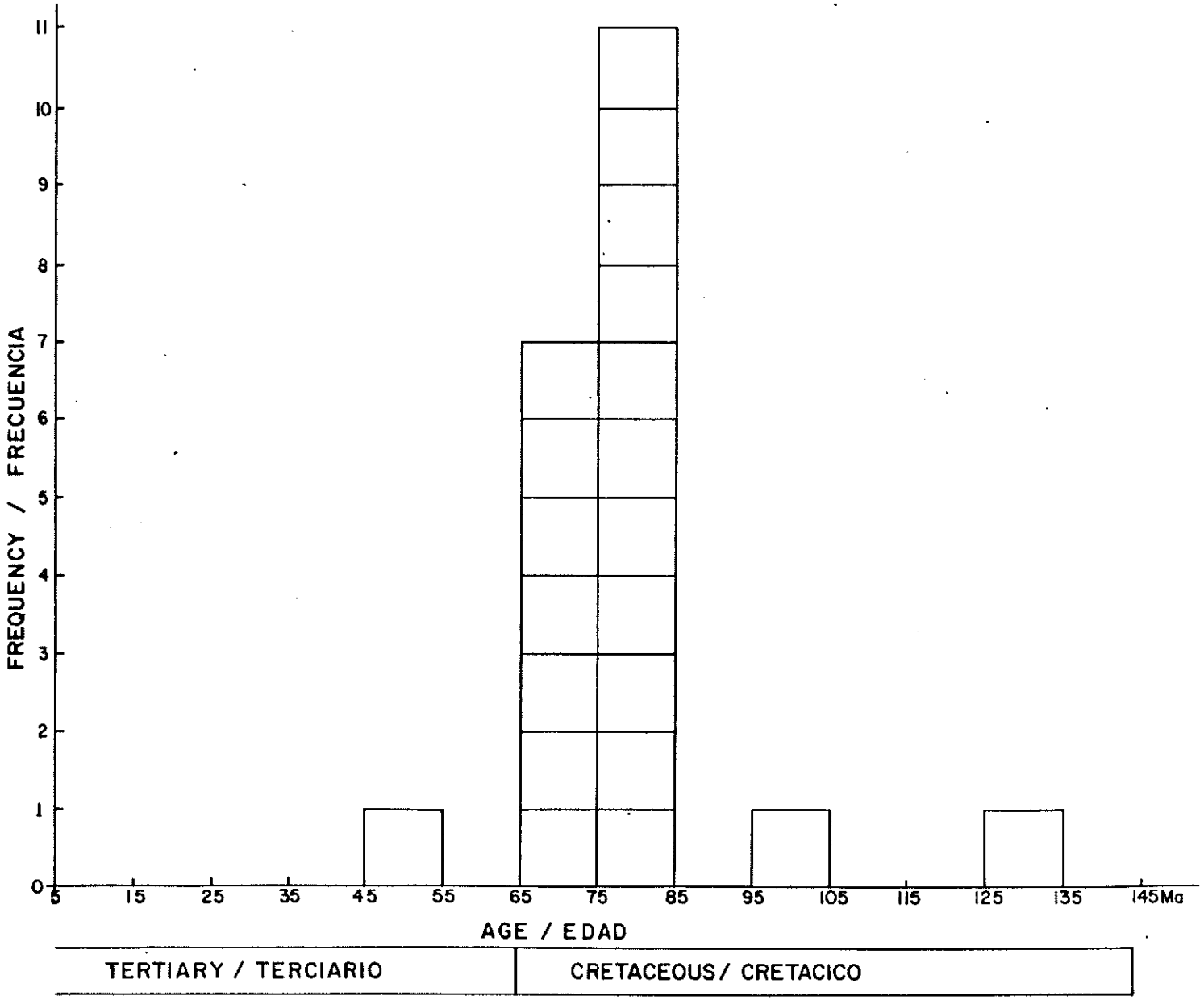


Fig: Nº4

TABLE 4 DISTURBED K/Ar MINERAL AGES FROM THE TRES LAGUNAS AND AGOYAN SUBDIVISIONS

(TABLA 4 EDADES MINERALES K/Ar REAJUSTADAS DE LAS SUBDIVISIONES TRES LAGUNAS Y AGOYAN)

Tres Lagunas subdivision (subdivisión Tres Lagunas)

Sample (Muestra)	Mineral (Mineral)	Age (Edad)	Area (Area)
11A	Musc	99.6 ± 3	Malacatos
	Bi	64.6 ± 9	
11B	Musc	98.5 ± 3	
	Bi	63.1 ± 3	
11C	Musc	98.9 ± 3	
	Bi	65.5 ± 2	
14D	Bi	61.7 ± 2	Tres Lagunas area E. of/de Saraguro
	Musc	67.5 ± 3	
14E	Bi	50.5 ± 2	
	Musc	73.1 ± 2	
14F	Bi	61.7 ± 2	
	Musc	68.8 ± 2	
14A	Bi	81 ± 3	Peggy Mine area (área Mina Peggy)
14D	Bi	86 ± 4	
Agoyan subdivision (subdivisión Agoyán)			Agoyan subdivision Baños-Puyo
11B	Mica	78 ± 33	
11D	Mica	74 ± 27	
11E	Mica	75 ± 7	
-	Musc	56.5 ± 2 *	
-	Musc	60 ± 2 *	
1C	Musc	73.7 ± 3	Papallacta (R.Chalpi)

Data sources:- See Table 3 and Herbert and Pichler, 1983*
(Datos de: Ver Tabla 3 y Herbert y Pichler, 1983*)

Bi = Biotite (Biotita)
Musc = Muscovite (Muscovita)

DISTURBED/ RESET K/Ar MINERAL AGES FOR THE TRES LAGUNAS/ AGOYAN SUBDIVISIONS
(EDADES RADIOMETRICAS K/Ar REAJUSTADAS DE LAS SUBDIVISIONES TRES LAGUNAS Y AGOYAN)

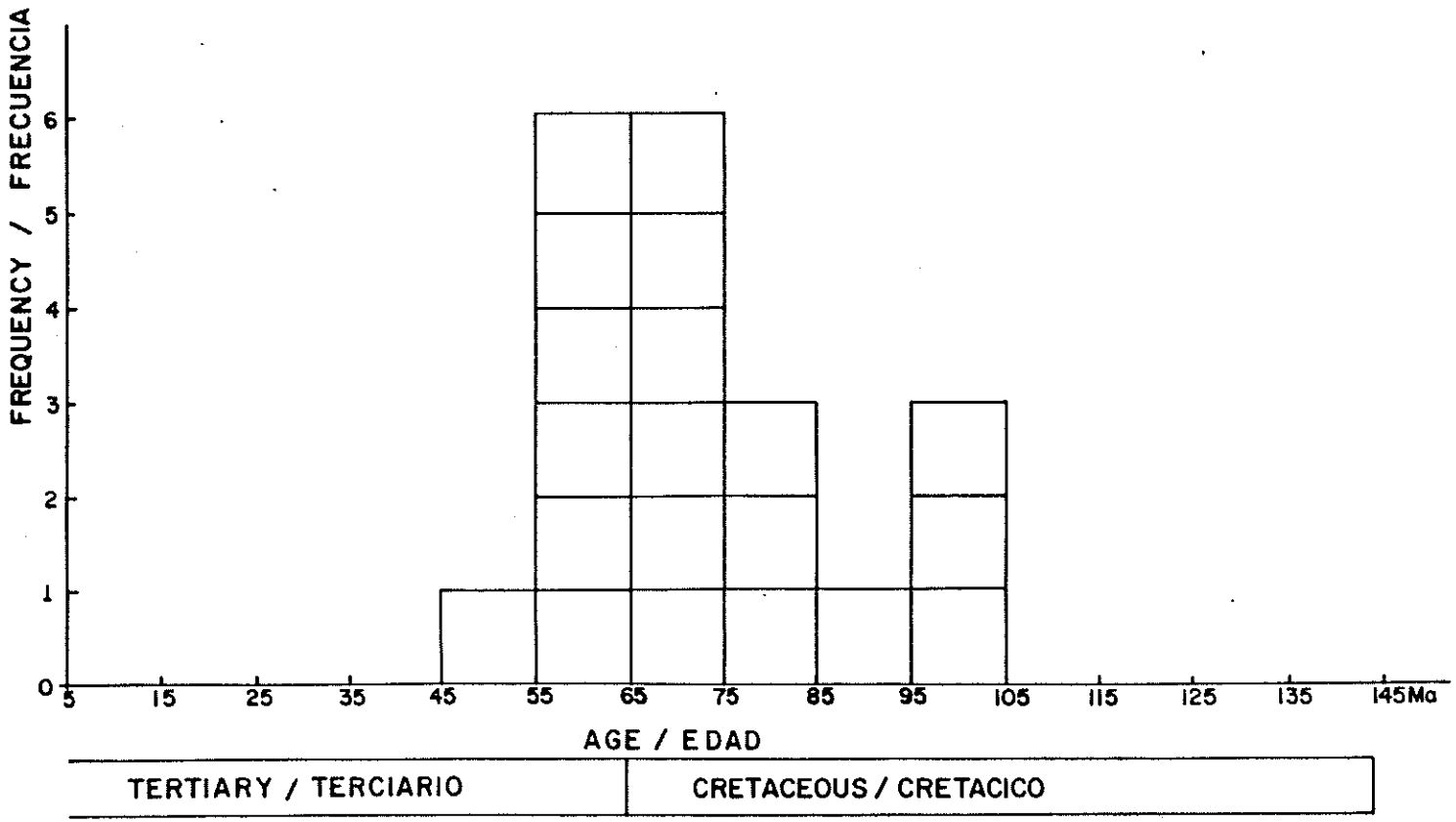


Fig: Nº5

2.6.3 Sumario de la evidencia geocronológica y la interpretación de las edades reajustadas-cretácica a terciaria inferior

Con la excepción de unas pocas edades antiguas, en particular aquellas del área de Papallacta, el evento metamórfico más antiguo reconocido en la cordillera es probablemente de edad Triásica Superior a Jurásica Inferior. Este evento afectó las rocas de la división Loja (subdivisiones Sabanilla y Tres Lagunas) y posiblemente se correlacionan con edades similares que han sido obtenidas de las rocas plutónicas y metamórficas de la Provincia de El Oro (Tabla 2, en Litherland, 1987; Apéndice 2b, de este informe). Entre c. 150-190 Ma ocurrió en Ecuador un evento de plutonismo muy importante que resultó en el emplazamiento de las subdivisiones Abitagua y Azafrán(?) y, la formación de sus secuencias asociadas volcánicas/volcano-sedimentarias (subdivisiones Misahuallí y Upano?).

Como se discutió en 2.6.1 y 2.6.2 numerosas edades (K/Ar) de minerales han sido obtenidas de las subdivisiones de Sabanilla, Tres Lagunas y Agoyán. Se han observado también algunas edades jóvenes de los batolitos Abitagua y Zamora y de la subdivisión Azafrán (ver 2.3.4b, 2.3.5a y también Apéndice 8, en Litherland, 1989). Esta información ha sido ploteada en la Fig. 6 junto con los principales eventos sedimentarios/tectónicos, como esta evidenciado por las formaciones sedimentarias Cretácicas a Terciarias Inferiores de los flancos de la Cordillera Real. Aunque se entendió claramente que la interpretación de las edades reajustadas de minerales es frecuentemente difícil, especialmente cuando el efecto de los eventos tectónicos sucesivos esta superimpuesto, algunos rasgos aparentes de la Fig. 6 merecerán un comentario posterior.

Después de terminar el plutonismo en las subdivisiones de Abitagua y Azafrán(?) (c. 150 Ma) la Cordillera Real estuvo sujeta a un fuerte tectonismo y se ha sugerido que este evento estuvo relacionado a la colisión de la división Alao a lo largo de la línea del frente Baños (Aspden et al., 1988). La evidencia de que un evento de cizallamiento transpresional muy fuerte afectó a la cordillera a/o cerca de ese tiempo viene del batolito Azafrán. Como se mencionó antes (2.3.4b), edades concordantes de hornblenda y biotita de 128 ± 7 Ma y 128 ± 4Ma han sido obtenidas de una monzodiorita/diorita deformada.

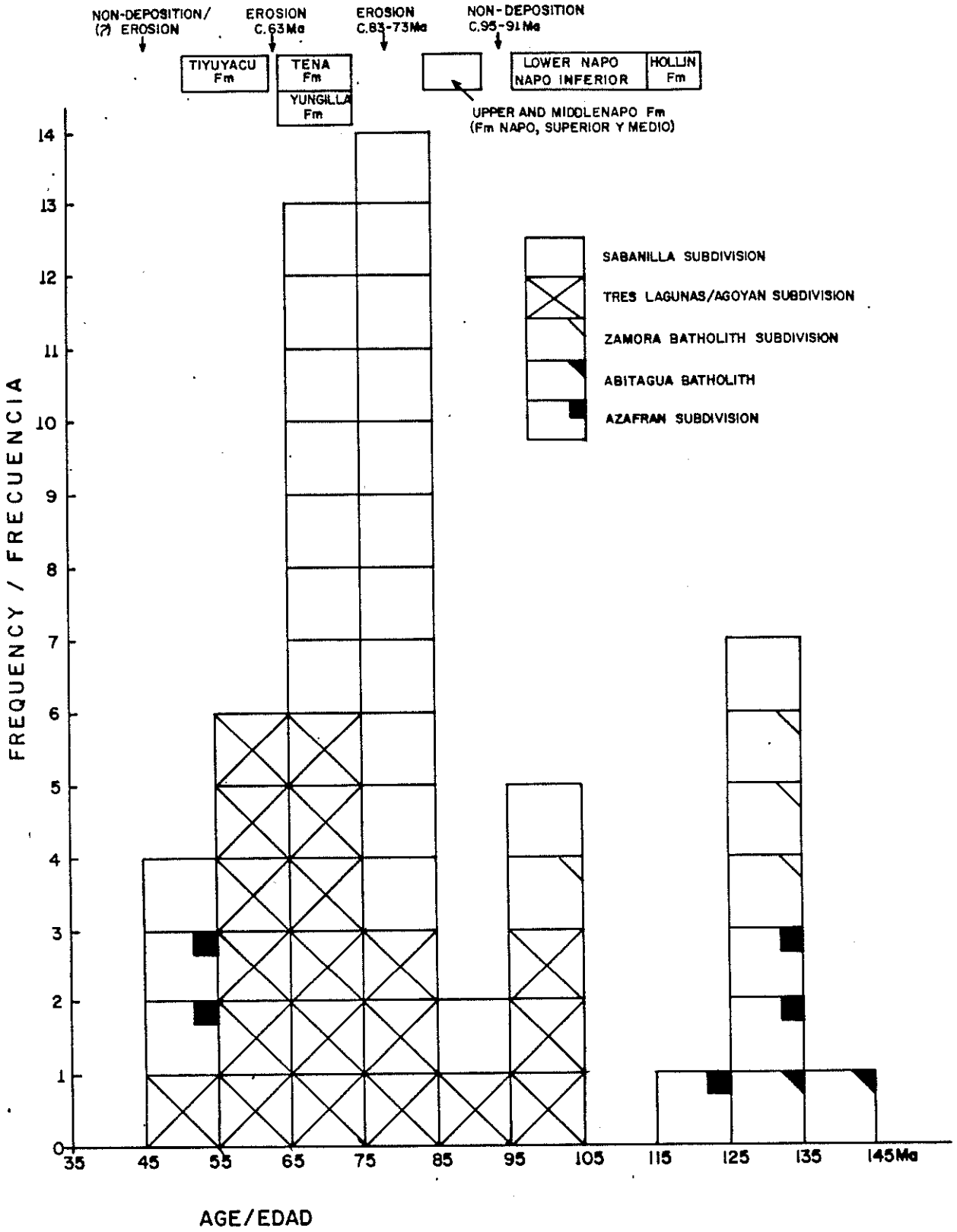
Pero también las edades de hornblenda y biotita de 174 ± 5 Ma y 176 ± 5 Ma fueron obtenidas de una muestra no deformada de la misma zona. Antes se sugirió que el isocrono del batolito Azafrán de 120 ± 5 Ma podría relacionarse a este episodio de cizallamiento regional y, como puede ser visto en la Fig. 6, unas edades jóvenes de K/Ar (reajustadas) de los batolitos Zamora y Abitagua, algunas de las cuales son de pares de minerales (hornblenda/biotita) que dieron edades discordantes aparentemente pueden ser atribuidas a este mismo evento. Suponiendo una edad Jurásica para la subdivisión Upano entonces estas rocas deben ser metamorfoseadas a la facie de esquisto verde, y en parte a la facie de anfibolita, en este tiempo. Sin embargo, no existe una evidencia firme para la edad de esta subdivisión y, puede ser posible que toda o parte de la subdivisión Upano puede pre-datar las subdivisiones Azafrán y Abitagua como la edad original del metamorfismo.

Después de la colisión de la división Alao una erosión extensiva ocurrió en la zona subandina antes de la deposición del oeste de la Fm. Hollín. La base de la Fm. Hollín está pobremente datada pero generalmente es considerada como Aptiano (c. 119-113 Ma), (Bristow y Hoffstetter, 1977). Aunque lavas y tobas estratificadas están presentes en la Fm. Napo Inferior (Baldock, 1982) estas secuencias estuvieron depositadas bajo condiciones relativamente estables en el límite de una plataforma epicontinental extensiva.

La Fm. Napo, Media e Inferior, están separadas por un periodo de no deposición Cenomaniano medio a superior (c. 95-91 Ma) que pueden relacionarse con un pico pequeño de edades reajustadas de minerales en la Fig. 6 de 95-105 Ma. Siguiendo la deposición de la Fm. Napo Superior ocurrió un periodo Campaniano de erosión importante (c. 83- 73 Ma) (Baldock, 1982) y éste, junto con la deposición subsecuente de las Fms. Tena y Yunguilla, coincide con el pico marcado de edades reajustadas de minerales de la Cordillera Real. La evidencia sedimentalógica de la Fm. Tena indica que ésta fue derivada del oeste (Baldock, 1982) y ya que la Fm. Yunguilla está confinada a los flancos occidentales de la Cordillera, entonces parece razonable concluir que el reajuste termal Cretácico Superior esparcido puede estar relacionado a la emergencia de la Cordillera Real como un rasgo topográfico positivo (ver además Baldock, 1982).

La evidencia de las formaciones sedimentarias indican claramente que las condiciones de inestabilidad continuaron durante todo el Terciario Inferior. En el Oriente están ausentes los sedimentos del Eoceno Medio al Oligoceno Superior y una discordancia erosional separa la Fm. Tena de la suprayacente Tiyuyacu sucesión de 'capas rojas'

DISTURBED/RESET RADIOMETRIC AGES FROM THE CORDILLERA REAL
(CRETACEOUS TO EARLIEST TERTIARY)
(EDADES RADIOMETRICAS DE LA CORDILLERA REAL REAJUSTADAS)
(CRETACICO A TERCIARIO INFERIOR)



DATA SOURCES : see table 2 (DATOS DE: ver tabla 2)

Fig: Nº6

con su conglomerado basal grueso (Baldock, 1982). En el oeste, por ejemplo en la cuenca de Cuenca, la Fm. Yunguilla está superpuesta directamente por sedimentos Miocénicos (Bristow et al., 1980) y de la Fig. 6 estos eventos parecen que también están reflejados en la continuación del evento termal ('overprinting') que afectó a las rocas metamórficas en la Cordillera Real.

En términos regionales el evento de 35-55 Ma (Cretácico Superior a Paleoceno) está interpretado para corresponder, al menos en parte, con la llegada y acreción subsecuente de la Cordillera Occidental a lo largo de la falla Calacalí Pallatanga-Palenque (Aspden et al., 1987, 1988). Durante este tiempo la actividad plutónica dentro de la cordillera fue restringida (2.4.2 y 2.4.4) y es sugerido que la energía termal necesaria para explicar tal reajuste tan ampliamente distribuido en la cordillera debe haber sido generada durante el levantamiento de la cordillera, principalmente como el resultado ya sea del calentamiento friccional a lo largo de las zonas cizalladas o por el incremento en el espesor de la corteza continental.

3 OCURRENCIAS MINERALES Y ANOMALIAS GEOQUIMICAS

Como en los Informes Anuales anteriores, los grupos de minerales usados en este capítulo siguen los del Mining Journal. Solamente las ocurrencias de minerales y las anomalías geoquímicas encontradas en los pasados 12 meses son tomadas en cuenta. La información económica del Mapa 9 al sur del Río Paute, ha sido incluida en Informes Anuales anteriores. De igual manera, sólo las nuevas ocurrencias minerales que están de acuerdo con la travesía Atillo--Macas (Río Abanico) se encuentran en este informe, informaciones anteriores pueden ser encontradas en Litherland (1987, p. 184).

En el Apéndice 6, están indicados todos los análisis geoquímicos disponibles de sedimentos fluviales y muestras de rocas, junto con su localización. El Apéndice 6a indica los análisis efectuados en los laboratorios de INEMIN e incluye sedimentos fluviales y análisis de rocas. El Apéndice 6b, incluye solamente los análisis de rocas que han sido efectuados por los laboratorios de ACME, Vancouver Canadá; o por Caleb-Brett, St. Helens, UK.

El lector puede encontrar en el Apéndice 7a los detalles de minerales de interés económico que han sido identificados en concentrados bateados recolectados en la Cordillera Real en los pasados cuatro años. La localización de estas muestras están en los Mapas 10 y 11 y los análisis semicuantitativos de XRF de algunos de los concentrados bateados están incluidos en el Apéndice 7b. Al momento de escribir este informe (Apéndice 7) está en preparación y por lo tanto, no será discutido en este reporte. Además el Apéndice 4b describe una serie de conjuntos de rocas algunas de las cuales son de conocido interés económico.

3.1 METALES PRECIOSOS

3.1.1 Oro y Plata

3.1.1a Ocurrencias aluviales (Au)

El oro ha sido bateado o es trabajado, en varios ríos y éstos están indicados en los mapas geológicos (Mapas 8 y 9). Ocurrencias de oro adicionales están también indicadas en los dos mapas de travesía que cubren la parte sur de la Cordillera Real (Mapas 3 y 4). En las siguientes áreas/ríos, el oro es trabajado comercialmente por minadores/cooperativas de pequeña escala:

a) Ortega Alto - cuando éste fue visitado por el proyecto unos 17 mineros estuvieron trabajando en este depósito coluvial (?). La fuente de oro de este sitio histórico no es conocida, pero el área ha sido estudiada por INEMIN (1986) (ver además el Apéndice 1e, Mapa 3).

b) Río Tutupali - extensamente trabajado, usualmente por pequeños grupos de familias. Una operación proyectada de draga comercial al norte de La Paz, fue paralizada cuando el área fue visitada por última vez, debido a disputas sobre tenencia de tierras (Mapas 3 y 4).

c) Río Palora - principalmente aguas abajo de, pero incluyendo el Río Coco; también en el Río Sangay. Esta operación incluye varios grupos pero probablemente implica un exceso de 100 personas, trabajando principalmente adentro del Parque Nacional de Sangay. Muestras de oro prometedoras (6 chispas gruesas en dos bateas) fueron también bateadas en el Río Benado, un tributario de la orilla norte del Río Palora, localizado c. 1.5 km aguas arriba del Río Coco (Mapas 6 y 9).

d) Río Illushín - principalmente trabajado entre 1-3km aguas arriba de su unión con el Río Pastaza (Mapa 9) en los meses secos del año. Hasta 20 mineros estuvieron involucrados en esta operación.

e) Río Cofanes - en el área de Puerto Libre (Aguarico) el oro aluvial está trabajado por unas 30 familias y también por la Compañía Minera Arajuno. De acuerdo con la información recibida por el proyecto, el oro aluvial también fue descubierto abajo de La Sofía en 1979 y pepitas de oro de hasta 30 gramos, han sido recogidas de esta área (ver Apéndice 1c y Mapa 2).

f) Río Minas - aunque el Río Minas aparentemente no ha sido trabajado para oro, muestras prometedoras de 12 laminillas de oro bateado han sido obtenidas. Algunas de las laminillas de oro de hasta 1 mm de ancho (Apéndice 1b y Mapa 1).

3.1.1b <u>Anomalías geoquímicas (Au y Ag)</u>

Los análisis Au y Ag de las muestras de rocas enviadas a los laboratorios Caleb-Brett y ACME (Apéndice 6b) dieron generalmente valores bajos entre 0.4-39 ppb (Au) y $<$ 1ppm (Ag). Algunos valores más altos de 491 ppb (Au) y 2.8ppm (Ag) fueron obtenidos de una muestra rodada mineralizada (CRHL667) del Río Quijos (carretera Baeza-Papallacata)

y 5 ppm (Ag) y 2 ppm (Ag) fueron registrados de CRFV908 y M667C. CRFV908 es una veta de cuarzo con sulfuros del NO de Alao (Mapa 6) y M667C es un bloque metavolcánico de la Quebrada Las Juntas, un tributario de la orilla occidental del Río Chingual (Mapa 2).

Valores consistentemente más altos de Ag fueron obtenidos de los laboratorios de INEMIN (Apéndice 6a).

a) Las muestras de roca 553-K y 553-L1, del área de Sara Urco (Mapa 6, en Litherland, 1989) dio 10 y 13 ppm Ag respectivamente y en 553-L1 fue detectado 0.2 ppm Au.

b) Un bloque pirítico de la Fm. Napo del Río Cascabel (607B) y un pórfido piritizado del Río Salado (609B) produjeron valores Ag de 6 y 8 ppm (Mapa 7, en Litherland, 1989).

c) Las muestras de sedimentos fluviales A254F y A257F de los ríos Tambo Blanco y Cristal (travesía Jimbilla Río Quimi, Mapa 3) dieron valores de 7 ppm y 3 ppm Ag respectivamente.

d) Las muestras fluviales A263F (Río Cambana), A272F (Río Espadillas) A275F (Q. El Guando Chico) y A277F (Río Salado) del área de Tutupali-San José de Yacuambí dieron valores Ag de entre 4-6 ppm (Mapa 4).

e) Las muestras duplicadas A279A-K recogidas en el Río Chica (Mapa 4) dieron valores Ag que variaban de 1 ppm a 12 ppm.

3.2 METALES MAYORES PRINCIPALES

3.2.1 Cobre

a) En el Río Cambana, fue vista calcopirita cerca del contacto con el batolito Zamora y una muestra de sedimento fluvial de este río (A263F) contenía 90ppm Cu (Apéndice 1e, Mapa 4 y Apéndice 6a).

b) Fueron identificadas calcopirita y bornita en bloques rodados de volcánicos del Río Campana Urco (Apéndice 1e, Mapa 4). Una muestra de sedimento fluvial (A271F) aguas abajo de la unión con el Río Espadillas sin embargo produjo solamente 39 ppm Cu (Apéndice 6a).

c) 63 ppm fue recogido de una muestra de sedimento del Río Salado, un tributario de la orilla sur del Río Cantzama, al oeste de Guadalupe (Mapa 4, Apéndice 6a, A277F).

d) Valores Cu relativamente altos (54-106 ppm) fueron obtenidos de las muestras de sedimentos fluviales de la travesía del Río Tutunangoza al Río Ojal (Apéndice 6a, CRRB191-195).

e) Calcopirita, junto con otros sulfuros (principalmente pirita), esta asociada con diques félsicos pequeños y capas a lo largo del margen occidental del plutón Salado (Mapa 9).

f) Zonas de cizallamiento N-S conteniendo sulfuros al oeste de Peltetec en el Valle Alao, en la subdivisión Alao-Paute, lleva trazas de calcopirita. Está también presente dentro de vetas pequeñas de cuarzo con sulfuros en la subdivisión Tres Lagunas hacia el este (Apéndice 1f, Mapas 5 y 9).

g) Los siguientes valores Cu fueron obtenidos de sedimentos fluviales en el área de La Sofía-Río Cofanes-Puerto Libre (Mapa 2, Apéndice 6a): 68 ppm (CRML143F, Río San Jorge); 68 ppm (CRML146F, Q. La Industria); 76 ppm (CRML147F, Q. Las Juntas) y 68 ppm (CRML148F, Q. El Bicundo).

Muestras de rocas de la misma área (Apéndice 6b) dieron: 269 ppm (M659F, bloque rodado, Río Cofanes); 692 ppm (M-667C, bloque rodado, Q. La Industria) y 1308 ppm (M-668, bloque rodado, Q. Las Juntas). Además de estas ocurrencias vetas de cuarzo concordantes que llevan un poco de calcopirita están presentes en granodiorita milonítica al sur de La Sofía en el Río Cofanes. Al norte de La Bonita la calcopirita fue vista a lo largo de la nueva ruta donde está asociada con la zona de contacto de un pequeño pórfido Terciario (Apéndice 1c, Mapa 2 y Mapa 8).

h) Una muestra rodada de gneís muscovítica del Río Condúe (CRMC653A, Apéndice 6b) contuvo 1510 ppm Cu.

i) Las muestras de roca del área de Sara Urco (Mapa 6, en Litherland, 1989) dieron los siguientes resultados Cu: 553L.1-773 ppm; MP553D.1-357 ppm; CRMP553D.2-234 ppm; MP554C-85 ppm; MP554F-146 ppm.

j) Una muestra de afloramiento de metabasalto del Río Blanco de Patate contuvo 150 ppm (Apéndice 1a).

k) Un afloramiento de pórfido mineralizado en el Río Salado contuvo 109 ppm Cu (MP609 y MP609B) (Mapa 7, en Litherland, 1989).

l) Rodados mineralizados del Río Quijos (carretera Papallacta-Baeza) dieron valores Cu de 120 ppm (CRHL677, Apéndice 6b).

m) Fueron notadas menores cantidades de calcopirita en el área alrededor de Monte Olivo (Apéndice 1b, Mapa 1 y Mapa 9).

3.2.2 Plomo y Zinc

a) Los análisis de PB y Zn obtenidos de las muestras de sedimentos (Apéndice 6a) oscilan hasta 166 ppm y 147 ppm respectivamente. Muestras duplicadas del Río Chicana dieron valores de Pb entre 132-166 ppm y Zn 74-100 ppm. Las muestras: A263F (Río Cambana) dio 157 ppm Pb y 76 ppm Zn; A271F (Río Campana Urco) dio 107 ppm Pb y 145 ppm Zn; A272F (Río Espadillas) dio 107 ppm Pb y 147 ppm Zn y A277F (Río Salado) dio 132 ppm Pb y 136 ppm Zn (ver Mapa 4).

Valores Pb "anómalos" fueron también registrados de las siguientes muestras: A257F (Río Cristal, Mapa 3) 101 ppm; A262F (Río Quimi, Mapa 4) 107 ppm; CRML141F (Río Cofanes, Mapa 2) 96 ppm.

b) Un bloque volcánico silicificado/epidotizado del Río Cantzama (Mapa 4, CRFV770) contuvo 633 ppm Zn.

c) Muestras de roca mineralizada del área de Sara Urco (553K, 553L.1, Mapa 6 en Litherland, 1989) llevan hasta 1183 ppm Zn y 238 ppm Pb (Apéndice 6a).

d) Fue registrado 7593 ppm Zn de un rodado en el Río Quijos (CRHL677) (carretera Papallacta-Baeza).

e) Muestras de rocas de los ríos Salado y Cascabel (MP609 MP609B y MP607, Mapa 7, en Litherland, 1989) contienen hasta 515 ppm Zn y 121 ppm Pb.

f) Vetas de sulfuro y cuarzo dentro de la subdivisión Tres Lagunas al este del Río Alao contienen hasta 3170 ppm Pb y 42 ppm Zn (CRFV908, Mapas 6 y 9).

g) En el área de Monte Olivo/San Gabriel (Mapa 1) fueron obtenidos los siguientes valores Zn 'anómalos': CRMC640B (cerca de El Carmen) 173 ppm; CRMC642B (Río Minas) 248 ppm; CRMC644 (Q. Juan Ibarra) 288 ppm; CRMC645B (área Ambuquí) 236 ppm y CRRB180A (Río Blanco) 100 ppm.

h) En el Río Condue bloques rodados (652B y 653A, Mapa 1) dieron valores Zn de 478 ppm y 332 ppm respectivamente.

i) En el área de La Sofía-La Bonita (Mapa 3) fueron obtenidos los siguientes valores Zn de las muestras mineralizadas: M659F (Río Cofanes) 139 ppm; M667C

(Q. La Industria) 38.748 ppm; M667D (Q. La Industria) 244 ppm y M668 (Q. Las Juntas) 1211 ppm.

j) Una muestra de caliza de la Fm. Napo? (RB159A) del Río Mulatos (Mapa 7, en Litherland, 1988) produjo 110 ppm Zn.

k) Menores cantidades de Pb (134 ppm) estuvieron presentes en una muestra caolinizada del granito Tres Lagunas (A169, Mapa 3).

l) Valores de hasta 154 ppm Zn y 98 ppm Pb fueron obtenidos de las muestras de rocas del Río Blanco de Patate y Río Verde (Apéndice 1a).

m) Un bloque suelto de granito granatífero del área Oyacachi (CRMP462B/C, Mapa 3, en Litherland, 1989) contuvo 100 ppm Zn.

3.2.3 Estaño

Concentraciones pequeñas de estaño oscilando de 11 a 33 ppm están presentes en muestras rodadas de pegmatitas recogidas en la Q. Juan Ibarra al este de San Gabriel (Mapa 1) (CRMC642B, 643B y 644C, Apéndice 6b).

3.3 METALES PARA LA INDUSTRIA DE ACERO

3.3.1 Cromo

Tres muestras rodadas de serpentinita tuvieron los siguientes valores Cr: M659A (Río Cofanes) 2216 ppm; M659B (Río Cofanes) 670 ppm y M677 (Río Huagracyacu) 971 ppm. Un pequeño afloramiento de una 'veta' de serpentinita carbonatada (10 cm de ancho) cerca de Monte Olivo (CRMC640B) produjo 1410 ppm Cr. Los niveles de 1-3000 ppm Cr son estándares para los complejos ofiolíticos en todo el mundo (Hutchinson, 1983).

3.3.2 Cobalto

El valor de Co más alto registrado fue de 112 ppm para un bloque de skarn del Río Verde (M637). En todos los lugares los valores son menores que 100 ppm. Tres muestras de Sara Urco (533-K, 533L.1 y CRMP553D.2) dieron análisis de 59-97 ppm Co y M667C conteniendo 79 ppm Co. Otros valores entre 54-79 ppm fueron obtenidos de bloques rodados de serpentinita (M659A, M659B y M677).

3.3.3 Hierro y Manganeso

a) La magnetita está presente en el campo de skarn de Río Verde (Apéndice 1a) y en el área de Sara Urco (Mapa 6, en Litherland, 1989).

b) Lentes tectónicos? pequeños (hasta de 1 cm) de magnetita fueron vistos en un rodado de cuarzo feldespático en el Río Minas (Apéndice 1b).

c) En el Río Condue ocurren pequeñas diseminaciones de magnetita en facies pegmatíticas del granito Condue

d) La magnetita está presente en vetas pequeñas y en algunos pequeños bloques masivos en los ríos Campana Urco y Espadillas (Apéndice 1e).

e) Los análisis de Fe y Mn están listados en el Apéndice 6.

3.3.4 Molibdeno

Un valor máximo de 556 ppm fue registrado para MP554C del área de Sara Urco. Otras muestras analizadas contenían <30 ppm Mo.

Fueron notadas menos cantidades de molibdenita en bloques rodados en el Río San Miguel al este de Monte Olivo y también en una serie de vetas delgadas de cuarzo a lo largo del margen oriental del plutón Chingual (Mapa 8).

3.3.5 Niquel

El valor más alto de 1736 ppm Ni viene del área de Sara Urco (553L.1). Entre 665-1613 ppm Ni fue detectado en varias serpentinitas de la Cordillera Real (M677, M659A, M659B y CRMC640B) y una muestra de pirita de la Fm. Napo (609B) contuvo 610 ppm Ni. Ninguna de estas últimas ocurrencias son consideradas de tener interés económico.

3.3.6 Tungsteno

Aunque la scheelita es relativamente común en concentrados bateados de la Cordillera Real (Apéndice 7) no están presentes valores W 'anómalos' en el Apéndice 6.

3.3.7 Titanio

Cristales de rutilo café rojizos de hasta 4 cm de largo están presentes en gneises de grano medio al este de Monte Olivo (Mapa 8). Esta ocurrencia es probablemente de interés solo mineralógico.

3.3.8 Vanadio

Algunas muestras de sedimentos fluviales del área de San José de Yacuambí tiene valores de 100 ppm. La concentración más alta de 189 ppm fue obtenida en el Río Cambana (A263F, Apéndice 6a, Mapa 4). Las muestras de roca (CRFV757A y CRFV770) también de la misma área contienen 242 y 300 ppm V respectivamente.

Las siguientes muestras de cualquier lugar de la Cordillera, CRMP462B/C, CRMC642B y MP554C contienen entre 103-244 ppm V.

3.4 MINERALES COMBUSTIBLES

3.4.1 Petróleo

En el Río La Chispa y en otros dos tributarios sin nombre de la orilla del Río Chingual fueron vistos rodados de lutitas bituminosas probablemente de la Fm. Napo (Mapa 2).

3.5 METALES Y MINERALES ELECTRICOS

3.5.1 Cadmio

M667C y CRHL677 contienen 494 ppm y 110 ppm Cd respectivamente. Un valor más bajo de 17 ppm Cd fue registrado en la muestra M668.

3.6 METALES Y MINERALES QUIMICOS

3.6.1 Antimonio

M667C dio 22 ppm Sb; 11 y 10 ppm fue registrado de M659A y M659B.

3.6.2 Bario

M662 contuvo 441 ppm Ba.

3.6.3 Bismuto

Un valor máximo de 13 ppm Bi fue encontrado en CRMP553D.2.

3.6.4 Caolín

En el área del plutón Rosa Florida está presente arcilla rica en caolín (Mapa 8). También hay zonas de caolinización dentro del batolito Tres Lagunas cerca de su margen oriental en la parte sur de la cordillera.

3.6.5 Azufre

Cantidades menores de azufre nativo con zonas de alteración pirítica, están presentes en la Fm. Tarqui cerca de Atillo, a lo largo del camino que conduce a Laguna Atillo (Mapa 9).

3.7 METALES NUCLEARES Y RADIOACTIVOS

3.7.1 Uranio

Una banda pequeña de 30 cm de fosfato uranífero aflora en el Río Chingual al norte de Puerto Libre (Mapa 8) (Vera, 1980).

3.7.2 Thorio

Un valor de 38 ppm Th fue registrado de CRFV908 y 27 ppm y 30 ppm de CRMP462B/C y MP554F.

3.8 AISLANTES Y REFRACTARIOS

3.8.1 Asbestos

Cantidades menores de anfibolita asbestiforme están presentes en las superficies cizalladas en rocas verdes máficas en el Río Palmar pero no son de valor comercial (Apéndice 1b, Mapa 2).

3.8.2 Grafito

Filitas grafíticas están presentes al este de Jimbilla (Mapa 3) y son relativamente comunes en toda la subdivisión Chiguinda (ver Informes Anuales anteriores). Estas ocurrencias son improbables de tener interés económico.

3.9 OTRAS ROCAS GEMAS INDUSTRIALES MINERALES

3.9.1 Carbonato

Aparte de las calizas dentro de la Fm. Napo (Tschopp, 1953, Baldock, 1982) en el Río Cofanes existen bloques de mármol y travertino (Apéndice 1b, Mapa 2).

3.9.2 Granate

El granate es un mineral relativamente común en la Cordillera Real en donde algunas veces es referido como rubí. Las ocurrencias son probablemente de interés mineralógico en vez de interés económico.

a) El granate está dispersado en varios campos de skarn al norte del Río Pastaza en donde pueden formar bandas de hasta 20 cm de espesor de alta pureza (Literland et al., 1990).

b) Granates euhedrales de (2-3 cm) están presentes en bloques rodados en el Río Collanes, un tributario de la orilla norte del Río Palora (Mapa 6).

c) Granates rojos de 5 mm de alta pureza, que fueron observados en Puerto Libre, han sido recogidos de la Q. Culebrillas cerca de La Bonita (Apéndice 1c, Mapa 2).

3.9.3 Piedra ornamental

Bloques atractivos rojo pálido de sianita y de monzonita gris ocurren en el Río La Chispa, un tributario de la orilla occidental del Río Chingual (Mapa 2).

3.9.4 Fosfato

Vera (1980) reportó la presencia de fosfórita uranífera dentro de la Fm. Napo en el Río Chingual (Mapa 2). Esta banda es de un ancho de 30 cm y es de muy poco interés económico. Una síntesis regional de fosfatos en la Fm. Napo está dada por Boujo et al., (1984) y Wilkinson (1982).

3.9.5 Sílice

Cuarcitas puras de la Fm. Hollín afloran a lo largo de la orilla norte del Río Chuchumbleza (Apéndice 1e, Mapa 4).

3.9.6 Turmalina

La turmalina negra es relativamente común en la cordillera donde está frecuentemente asociada con la subdivisión Tres Lagunas.

a) Cristales pequeños de turmalina (generalmente 1cm) están presentes hacia la margen oriental del batolito Tres Lagunas donde están asociadas con zonas de caolinización (Mapa 3, travesía Oñacapa-Yacuambí).

b) Cristales de turmalina de 2-3 cm ocurren en los bloques rodados de los gneises graníticos en el Río Cristal, un tributario en la orilla sur del Río Palora (Mapas 6 y 9).

c) Al este de San Gabriel en el área del Río Minas y al este de Monte Olivo (Mapas 1 y 8) los cristales de turmalina de hasta 3 cm de longitud están asociados con la faja pegmatítica de la subdivisión Tres Lagunas.

REFERENCES / REFERENCIAS

Aly, S., 1980. Petrologische untersuchungen plutonishcher gesteine von Ecuador. PhD thesis, Univ. Tubingen, (Unplubl.)

Aspden, J. A., **McCourt**, W. J. and **Brook**, M., 1987. Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia. J. Geol. Soc. Lond., vol. 144, pp. 893-905.

Aspden, J. A., **Litherland**, M., **Duque**, P., **Salazar**, E., **Bermúdez**, R. and **Viteri**, F., 1987. Un nuevo cinturón ofiolítico en la Cordillera Real del Ecuador y su posible significado regional. Politécnica, vol. XI, No. 2, pp. 81-93, Quito.

Aspden, J. A., **Litherland**, M., y **Salazar**, E., 1988. Historia colisional del centro y sur del Ecuador y posibles controles para la geología cenozoica y de mineralización polimetálica. Politécnica, vol. XIII, No. 3, pp. 49-75, Quito.

Baldock, J. W., 1982. Geología del Ecuador. Boletín de la explicación del mapa geológico de la República del Ecuador 1:1,000.000. Dir. Gen. Geol. y Minas, Quito.

Berthe, D., **Choukrone**, P. and **Jegouzo**, P., 1979, Orthogneiss, mylonite and noncoaxial deformation of granites the example of the South American Shear Zone. J. Struct. Geol., vol. 4, pp. 31-42.

Boujo, A. et al., 1984 Proyecto Fosfatos Dir. Gen. Geol. y Minas, Quito, (no publicado).

Bristow, C.R., 1973. Guide to the geology of the Cuenca Basin, southern Ecuador. Quito: Ecuadorian Geological and Geophysical Society.

Bristow, C. R., **Longo**, R. y **Guevara**, S., 1975. Mapa geológico de Cañar (Hoja 72) (1:100,000) Dir. Gen. Geol. y Minas, Quito.

Bristow, C. R. and **Hoffstetter**, R., 1977. Lexique stratigraphique International (2nd Ed.) (Paris: Centre National de la Recherche Scientifique).

Bristow, C. R. y **Guevara**, S., 1980. Mapa geológico de Azogues (Hoja 73) (1:100,000) Dir. Gen. Geol. y Minas, Quito.

Bulter, R. W. H., 1983. The terminology of structures in thrust belts. J. Struct. Geol., vol. 4, pp. 239-245.

Chappell, B.W. and **White**, A. J. R., 1974. Two contrasting granite types Pacific Geology, vol. 8, pp. 173-174.

Everden, J., 1961. Edades absolutas de algunas rocas ígneas en Bolivia. Noticiero Soc. Geol. Boliviana, 2-3, La Paz.

Feinienger, T., 1975. Origin of Petroleum in the Oriente of Ecuador Am. Assoc. Petrol. Geol., vol. 59, pp. 1166-1175.

Feinienger, T., 1982. The metamorphic "basement" of Ecuador. Geol. Soc.Am. Bull., vol. 93, pp. 87-92.

Hall, M. and **Calle**, J. 1982. Geochronological control for the main tectonic-magmatic events of Ecuador. Earth Sci. Rev., vol. 18, pp. 215-239.

Herbert, H. J., 1977. Die Grunschiefer der Öst-Kordilere Ecuador und ihr metamorpher. PhD thesis, Univ. Tubingen, Eberhard-Karls- Universitat, (Unpubl.).

Herbert, H. J. and **Pichler**, H., 1983. K-Ar ages of rocks from the eastern Cordillera of Ecuador. 2 Dt. Geol. Ges., vol. 134, pp. 483-493.

Hutchinson, C. S., 1983. Economic deposits and their tectonic setting. MacMillan, London.

INEMIN, 1986. Informe de prospección del coluvial aurífero de Ortega Alto, Yacuambi-Zamora Chinchipe. INEMIN, Quito octubre 1986 (No publicado).

Kennerley, J. B., 1980. Outline of the geology of Ecuador. Overseas Geol. and Min. Res. Inst. Geol. Sci. UK., No. 55, 17 pp.

Lascano, F., **Marín**, M. y **Verset**, Y., 1980. Mapa geológico de Macas (Hoja 90) (1:100,000) INEMIN, Quito.

Lister, G. S. and **Snoke**, A. W., 1984. S-C Mylonites J. Struct. Geol., vol. 6, pp. 617-638.

Litherland, M., 1987. Cordillera Real Geological Research Project: First Annual Report, INEMIN-Misión Británica, Quito (Unpubl).

Litherland, M., 1988. Cordillera Real Geological Research Project: Second Annual Report, INEMIN-Misión Británica, Quito, (Unpubl.).

Litherland, M., 1989. Cordillera Real Geological Research Project: Third Annual Report, INEMIN-Misión Británica, Quito (Unpubl.).

Litherland, M., **Aspden**, J. A., **Bermúdez**, R., **Viteri**, F. and **Pozo**,M., 1990. Cordillera Real Geological Research Project: Summary Report 1986-1990, INEMIN-Misión Británica, Quito (Unpubl.)

Mortimer, C., **Malo**, G. y **Salazar**, E., 1980. Mapa geológico de Baños (Hoja 88) (1:100,000). Dir. Gen. Geol. y Minas, Quito.

Sosa, H. and **Longo**, R. A., 1975. Mapa geológico de Alausí (Hoja 71) (1:100,000). Dir. Gen. Geol. y Minas, Quito.

Roberts, T. R., 1975. Characoid fish teeth from Miocene deposits in the Cuenca Basin, Ecuador. J. Zool. Lond., vol. 175, pp. 259-271.

Tschopp, H. J., 1953. Oil explorations in the Oriente of Ecuador. Bull. Am. Pet. Geol., vol. 37, No. 10, pp. 2303-2347.

Vera, R., 1980. La fosforita uranífera, Río Chingual, Chingual, Provincia de Napo. Politécnica, vol. 2, pp. 47-55, Quito.

Wilkinson, A. F., 1982. Exploration for phosphate in Ecuador. Trans. Instn. Min. Metal., B., vol. 91, pp. 130-145.

APPENDIX 1a - 1g

FIELD REPORTS

APENDICE 1a - 1g

INFORMES DE COMISION

INEMIN

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

APENDICE 1a

No. 8216

Quito, septiembre 14 , 1989

PARA: GERENTE TECNICO
DE: DR. MARTIN LITHERLAND - PROYECTO CORDILLERA REAL
ASUNTO: INFORME TECNICO DE LA COMISION EFECTUADA EN LA CORDILLERA REAL, EN LAS ZONAS DE LOS RIOS YANAYACU, PATATE, PASTAZA Y QUIJOS, DEL 30 DE AGOSTO AL 06 DE SEPTIEMBRE DE 1989.

1 INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

El Proyecto geológico de colaboración técnica entre los gobiernos de Ecuador y Gran Bretaña, contempla la recopilación de datos de campo que permitan conocer la geología de la Cordillera Real, tendiente a establecer un modelo de los procesos de su formación; así también su relación con los ambientes que gobiernan un posible potencial minero, para futuros trabajos locales concernientes al Instituto Ecuatoriano de Minería.

1.2 Objetivo

La comisión motivo del presente informe fue efectuada del 30 de agosto al 06 de septiembre. Esta comisión fue planificada para investigar nuevos sitios de interés geológico-minero y rechequear zonas estudiadas por el Proyecto en 1986, para con los datos obtenidos hacer una comparación con otros sectores de la Cordillera Real.

1.3 Personal Asignado

Para efectuar este trabajo la comisión estuvo encabezada por el Dr. Martin Litherland, acompañado por el Sr. Manuel Célleri como asistente de campo y chofer.

1.4 Medio de Transporte

Jeep Land Rover placa AT- 0274 de la Misión Británica.

AV. 10 DE AGOSTO 5540 Y VILLALENGUA TELFS. 240209 - 246559 - TELEX 21182 - CASILLA 23-A - QUITO-ECUADOR

1.5 Detalle de actividades

La recopilación de información geológica se realizó mediante el siguiente detalle de actividades:

Agosto

30 Quito - zona de San José de Poaló (Río Yanayacu) - Baños.

31 Baños - Agoyán - Río Blanco (Río Pastaza).

Septiembre

01 Río Blanco - Río Topo (Río Pastaza).

02 Río Blanco de Patate.

03 Río Verde de Pastaza.

04 Baños - Río Papallacta - Río Quijos - Baeza.

05 Baeza - Río Quijos - Reventador - El Chaco.

06 El Chaco - Quito.

2 GEOLOGIA

2.1 Introducción

Los datos geológicos obtenidos están descritos bajo la división litotectónica apropiada, siguiendo el Tercer Informe Anual del Proyecto Cordillera Real (Litherland, 1989).

2.2 División Guamote

Por el lado occidental del Río Yanayacu (7847-78807) al frente de la planta hidroeléctrica de Pisayambo, cerca de la población de San José de Poaló, hay un afloramiento de ortocuarcitas del basamento metamórfico. Este gran afloramiento forma una peña bajo de los volcánicos terciarios y se extiende aproximadamente 200 m del río hacia el noroccidente, no aparece en los mapas anteriores (Kennerley, 1971, Guzmán, 1986). Los afloramientos comprenden ortocuarcita de grano fino a medio y de color rosado, gris claro, gris oscuro y negro. Hay también esquisto de cuarzo y bandas de filita pálida; microbrechas sedimentarias de hojas de lutita negra.

Por las litologías y la posición geográfica las rocas de este afloramiento están correlacionadas con la división Guamote lo que aflora cerca de Punín y más al sur.

2.3 Divisiones Peltetec Maguazo

En la misma zona de San José de Poaló, por un camino 800 m al sur y al sureste del afloramiento de la división Guamote, existe un afloramiento notado por Kennerley (1971) de filitas verdes, metatobas ácidas, filitas negras y turbiditas cuarzosas finas bandeadas. Esta secuencia de litología pertenece a la división Maguazo.

En el Río Blanco de Patate (Hoja La Joya) aguas arriba desde un punto (7806-98588) al este de Poato hay afloramientos de metabasaltos y rocas ultramáficas, metatobas y filitas púrpuras y negras, turbiditas finas y areniscas calcáreas oscuras. Esta secuencia comprende a la División Peltetec siguiendo al este por rocas de la división Maguazo.

Así se ubican dos nuevos afloramientos de las divisiones Peltetec (ofiolítica) y Maguazo (ante-arco) más al norte de los previamente conocidos, Alao-Penipe (Litherland 1988).

2.4 División Tres Lagunas

Al este del frente Baños, en la mayor parte de la Cordillera Real, ocurren afloramientos del granito Tres Lagunas, sin embargo, esta litología no fue observada en la carretera al este de Baños (litherland, 1987).

Por la carretera entre el puente sobre el Río Pastaza, cerca de la Presa de Agoyán, hasta la Cascada de Agoyán, no hay afloramientos por una distancia de un kilómetro y medio. En esta comisión seguimos el camino al sur del Río Pastaza donde aflora mayormente ortogneis metagranítico, en algunos lugares con aspecto de granito tipo Tres Lagunas (cuarzo azul). El ortogneis cambia su aspecto milonítico, foliado a sin mayor deformación por la travesía. Hay diques anfibolíticos que penetran el granito, lo que se puede observar en mejor forma en los grandes rodados en el Río Pastaza seco. Los diques tienen márgenes foliados paralelos a la fábrica tectónica en el ortogneis indicando una edad sin- o pre-tectónica. También hay xenolitos de paragneis. Hay concentración pegmatítica de cuarzo y hornblenda por el contacto de los diques. Se supone que el dique que cruza la Cascada de Agoyán es de esta clase.

Las otras litologías de la división "Tres Lagunas" comprenden paragneises y esquistos con granate y moscovita (± cloritoide) y metasamitas granatíferas.

2.5 División Azafrán

Después de los estudios del Proyecto, la fase plutónica Azafrán se extiende por la mayor parte en el norte de la Cordillera Real. La sección tipo por la cantera de Azafrán indica una monzonita de cuarzo en estado sin deformación hasta milonítico. Entre el Río Blanco y el Río Verde, la revisión presente indica la mayor parte como fase metadiorítica intercalada tectónicamente con esquisto de moscovita, granate y cloritoide.

2.6 El Skarn Llanganates

Un gran campo nuevo de roca epidótica-magnetítica probablemente relacionado al skarn Llanganates fue visitado al oeste del Río Verde, en el cerro entre el Río Verde y el Río San Jorge sobre los 2100 m de altura (Hoja Río Verde, 8020-98465). Parece que la foliación tectónica es subhorizontal, como en los otros casos del skarn Llanganates (Litherland, 1989), aunque no vimos afloramientos 100% seguros. Es muy difícil utilizar las fotografías aéreas para determinar la extensión de esta unidad.

Las rocas son de grano fino o fino a medio, ricas en epidota. Son masivas y sin foliación tectónica penetrativa. Algunas son ricas en magnetita. Abajo hay esquistos y metadioritas con foliación tectónica subvertical.

2.7 La faja Subandina

Estudios de la zona subandina por la carretera Baeza - Río Salado indica que hay una transición de 100-200 m de espesor entre las formaciones Hollín y Napo, una transición de ortocuarcitas/areniscas intercalados con lutitas negras y volcánicas.

3 GEOLOGIA ECONOMICA

1. Oro fue bateado el Río Verde de Pastaza y el Río Topo.
2. Algunas muestras del nuevo campo de skarn del Río Verde indican una fuerte presencia de magnetita.
3. Fueron ubicados afloramientos ofiolíticos con posible potencial de metales preciosos.
4. Fue ubicado otro campo tipo skarn, lo cual representa zona de potencial mineral.

4 REFERENCIAS

Guzmán, J., 1986, Hoja Geológica de San José de Poaló, escala 1:100.000, Instituto Ecuatoriano de Minería (INEMIN).

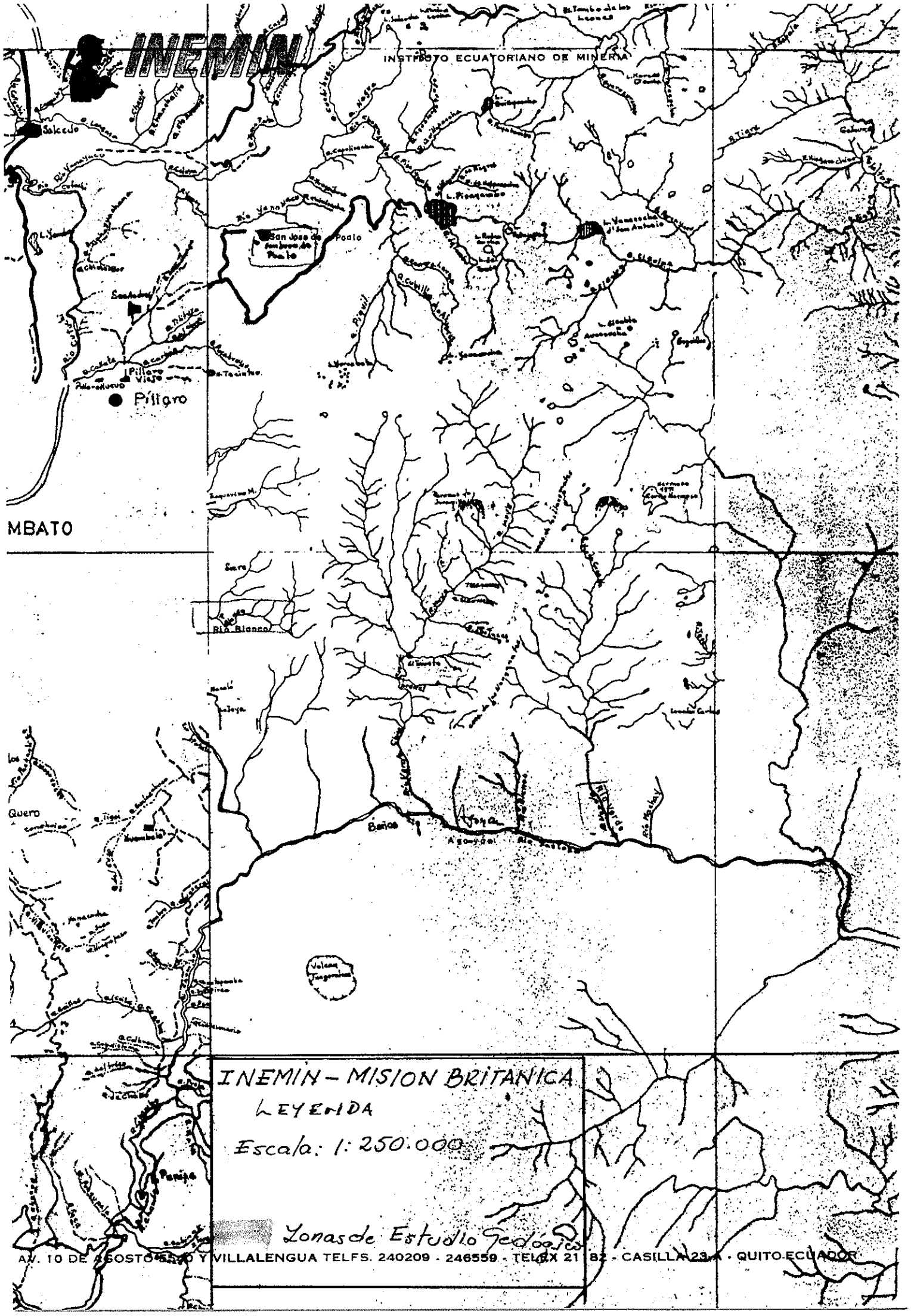
Kennerley, J.B., 1971, Geology of the Llanganates area, Ecuador, Rep. Inst. Geol. Sci., London, No. 01.

Litherland, M., 1987, Proyecto Geológico Cordillera Real, Primer Informe Anual, INEMIN-Misión Británica.

Litherland, M., 1988, Proyecto Geológico Cordillera Real, Segundo Informe Anual, INEMIN-Misión Británica.

Litherland, M., 1989, Proyecto Geológico Cordillera Real, Tercer Informe Anual, INEMIN-Misión Británica.

Dr. Martin Litherland
JEFE DE LA MISION BRITANICA


INEMIN
INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA
Salcedo
San José de Ambato
Pelileo
Píllaro
MBATO
Baños
Quero
Pastaza
INEMIN - MISION BRITANICA
LEYENDA
Escala: 1:250.000
Zonas de Estudio Geológico
AV. 10 DE AGOSTO 5150 Y VILLALENGUA TELFS. 240209 - 246559 - TELEX 21 82 - CASILLA 23 A - QUITO-ECUADOR

INEMIN

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

APENDICE 1b

No. 10296

Quito, diciembre 13 , 1989

PARA: GERENTE TECNICO
DE: DR MARTIN LITHERLAND
ASUNTO: INFORME TECNICO DE TRABAJOS GEOLOGICOS POR EL CORTE MONTE OLIVO-RIO CONDUE Y POR LA ZONA DEL RIO MINAS, PROVINCIAS DE CARCHI Y NAPO DEL 09 AL 27 DE OCTUBRE.

1. INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

El Proyecto Geológico de Colaboración Técnica entre los gobiernos de Ecuador y Gran Bretaña, contempla la recopilación de datos de campo que permitan conocer la geología de la Cordillera Real, tendiente a establecer un modelo de los procesos de su formación; así también, su relación con los ambientes que gobiernan un posible potencial minero, para futuros trabajos locales concernientes al Instituto Ecuatoriano de Minería.

1.2 OBJETIVO

La comisión motivo del presente informe fue efectuada en los días 09 al 27 de octubre de 1989. El objetivo fue estudiar las rocas metamórficas por San Gabriel-Río Minas y efectuar un corte de Monte Olivo a La Sofía por el Río Condue.

Debido a las dificultades de acceso y lento progreso por el Río Condue no fue posible continuar hasta La Sofía.

1.3 PERSONAL ASIGNADO

Dr. Martin Litherland (ODA / BGS)
Sr. Manuel Célleri (INEMIN)
Sr. Mario Nuñez (INEMIN)

1.4 TRANSPORTE

Jeep Land Rover placa AT-0240 de la Misión Británica.

AV. 10 DE AGOSTO 5540 Y VILLALENGUA TELFS. 240209 - 246559 - TELEX 21182 - CASILLA 23-A - QUITO-ECUADOR

1.5 DETALLE DE ACTIVIDADES

09	Quito - Ibarra
10-15	Estudios por San Gabriel-Río Minas, busca de peones por Monte Olivo, compras.
16-26	Ibarra - Monte Olivo - Río Condue - Ibarra
27	Ibarra - Quito

1.6 GEOGRAFIA Y VEGETACION

Por el corte de Monte Olivo - Río Condue hay que subir de Monte Olivo (2400 m. s.n.d.m.) por los páramos de la Cordillera de Maynas (3700m) bajando por los bosques montañosos por el Río San Jorge hasta el Río Condue (2500 m).

1.7 ACCESO

Por el sector de San Gabriel - Río Minas hay abundancia de caminos transitables. Por el corte Monte Olivo - Río Condue hay acceso de Jeep solo hasta Monte Olivo, luego existe una trocha de mulas la cual llega hasta el páramo. Bajando el Río San Jorge hay una pica vieja la cual se desaparece por el Río Condue.

1.8 METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología se notaba en Litherland (1987). Fueron recolectadas:

Muestras de minerales pesados	10
Muestras fluviales	3
Muestras petrográficas	37

1.9 TRABAJOS PREVIOS

La zona de San Gabriel - Río Minas (Chamizo Grande) fue estudiada en la compilación de la Hoja geológica San Gabriel (Salazar et al, 1986), pero el corte Monte Olivo-Río Condue no fue cumplido en este estudio.

Las rocas metamórficas accesibles de la Hoja San Gabriel también fueron estudiadas por Litherland y Bermúdez (1987), lo cual fue incluido en el Primer Informe Anual del Proyecto Cordillera Real (Litherland, 1987).

Al sur, la Hoja Geológica de Mariano Acosta fue recopilada por Santamaría y Sierra (1988).

2 GEOLOGIA

2.1 INTRODUCCION

Como la geología del basamiento se presenta en fajas discretas de rumbo aprox. NE, será conveniente una descripción de las unidades por el sentido oeste al este.

2.2 EL BASAMENTO AL OESTE DE MONTE OLIVO

Este comprende afloramientos de la granodiorita de Pimampiro, metasamitas, anfibolitas y esquistos pelíticos (Mapa 2) (Litherland y Bermúdez, 1987), los cuales caen dentro de la faja Central del Complejo Metamórfico de la Cordillera Real (Litherland, 1987).

2.3 ESQUISTOS Y PARAGNEISES DE MONTE OLIVO

Esta faja de esquisto pelítico seguida al este por gneises semipelíticos puede trazarse desde Monte Olivo (Mapa 2) hasta el sector del Río Minas (Chamizo Grande) (Mapa 1) y más al norte hasta El Playón (Litherland y Bermúdez, 1987).

La faja de esquisto está esencialmente compuesta por esquisto pelítico muscovítico + granate, con zonas o bandas de esquisto grafítico y con bandas de ortocuarcita de grano fino a medio. Los granates pueden llegar a un tamaño de 2 cm.

El contacto con la faja de paragneís al este es transicional y representa una secuencia más samítica. Este contacto está indicado al este de Monte Olivo, subiendo la trocha, y al este de Río Minas, subiendo la Quebrada Juan Ibarra. El paragneís está marcado por la presencia de muscovita, granate y un componente cuarzo-feldéspatico de grano medio a grueso. Bloques rodados indican un componente fuerte de una semipelita compuesta por intercalaciones de ortocuarcita y esquisto en escala de 1-5 cm.

También hay zonas de esquisto pelítico y ortocuarcita. Las anfibolitas son raras, pero hay afloramientos pequeños con rocas verdes, los cuales indican intrusiones sintéctonicas. Los esquistos y paragneís tienen una fuerte esquistosidad tectónica.

2.4 LA ZONA "PEGMATITICA" DE MONTE OLIVO

El potencial mineral de esta zona merece su descripción bajo la sección 3.3. (Potencial mineral).

2.5 GRANODIORITA MAYNAS

Esta unidad aflora por los páramos de la Cordillera Maynas. La litología es uniforme y comprende (meta)granodiorita de grano medio con megacristales de biotita hasta de 2 cm de largo; la alineación de los cuales identifica una foliación tectónica en la roca para formar un ortogneís: lo más deformada la roca, lo más fuerte es la foliación biotítica. Xenolítos máficos han sido notados.

Litologías menores vistas en bloques rodados son: metadiorita, vetas pegmatíticas no deformadas hasta 10 cm de ancho con cristales hornblendas de hasta 5 cm, y hornblendita vista en rodados pequeños.

La granodiorita Maynas es idéntica, hasta la zona de pegmatita hornbléndica, a los metaplutones Chingual y Sacha (Litherland y Bermúdez, 1987), los cuales afloran por el camino El Playón - La Bonita, y con ellas probablemente forma un solo cuerpo meta-intrusivo. La edad provisional por Rb-Sr del plutón Chingual es alrededor de 156 Ma (Litherland, 1988).

2.6 EL GRANITO CONDUE

Este cuerpo plutónico aflora abajo en el Río San Jorge y por el Río Condue hasta la terminación del corte.

La litología típica es un granito alcalino de color rosado y de grano grueso hasta muy grueso, con feldespato-K prominente y sin deformación. Solo hay un diaclasamiento fuerte de rumbo 70°. La roca este bien lucocrática con un desarrollo débil de biotita y hay fases aplíticas y pegmatitas sin biotita, en los cuales el cuarzo puede alcanzar 1.5 cm de tamaño. Los xenolitos están ausentes. Algunos bloques en el Río Condue muestran un granito de grano medio-grueso con megacristales de feldespato-K hasta 5 cm de largo.

Por la unión de los ríos Condue y San Jorge hay afloramientos de un granito pálido de grano medio con un poco más de biotita, lo cual esta mezclado en unos sitios con el tipo rosado dominante y puede representar una fase temprana del intrusivo.

El granito de Condue puede ser correlacionado con el granito El Gato de Santamaría y Sierra (1988) en la Hoja Mariano Acosta.

2.7 INTRUSIONES MENORES

En algunos afloramientos el granito Condue está cortado por intrusiones irregulares de pórfido, o diques de riotita hasta de 3 m de ancho. El diaclasamiento fuerte corta el granito y los intrusivos menores. Al oeste hay también intrusivos ácidos menores que cortan los paragneises de Monte Olivo.

Así es posible que los intrusivos ácidos menores se relacionan a la fase final del granito Condue.

2.8 SERPENTINITAS

Un día fue ocupado en busca de bloques rodados de serpentinita por la zona del Valle de Chota-Ambuquí, pero los resultados fueron negativos. Parece que la ofiolita Peltetec no sigue por este sector.

También fuimos a San Gabriel para investigar la información de que hay una industria pequeña de tallado utilizando serpentinita. Al fin descubrimos un bloque rodado de serpentinita verde en un taller, pero no encontramos su ubicación del campo. No hay bloques de serpentinita en el Río Minas y si la fuente es en Ecuador cerca de San Gabriel puede ser una "ventana" de basamiento.

3 GEOLOGIA ECONOMICA

3.1 OCURRENCIAS DE MINERALES METALICOS

3.1.1 Oro

El Mapa 1 indica que el oro fue bateado en las tres estaciones de muestreo. En el Río Minas había 12 chispas en el bateo, algunas hasta de 1 mm. En la Quebrada Juan Ibarra había cuatro chispas y en la Quebrada Mueses, una. Cabe notar que es casi seguro que el oro en las dos quebradas viene del basamento metamórfico y posiblemente está asociada con la faja "pegmatítica". El oro en el Río Minas también puede venir del basamento metamórfico.

3.1.2 Cobre

Hay las siguientes indicaciones de mineralización de cobre:

(a) Hay una ocurrencia por una nueva excavación del lado norte del camino 100 m hasta llegar al puente del Río El Carmen yéndose al este por Monte Olivo. En una zona milonítica de 10 cm

de ancho, la cual también tiene abundante calcita, hay superficies ricas en crisocola verde. Las litologías alrededor son esquistos pelíticos y grafíticos, y anfibolitas.

(b) Al este de Monte Olivo arriba en el Río San Miguel hay pequeños rodados de veta de cuarzo con vetillas de pirita-calcopirita-crisocola, los cuales probablemente vienen de la granodiorita Haynas.

(c) En el Río San Jorge hay bloques de la granodiorita Haynas con pequeña mineralización Cu por vetas de cuarzo por lo largo de planos de diaclasa.

(d) Un rodado raro de ortogneís muscovítico granitoide de grano medio a grueso en el Río Condue contiene puntas pequeñas de sulfuros y mineralización Cu de tamaño de 2 mm elongados por la foliación tectónica.

3.1.3 Hierro

(a) Un rodado en el Río Minas contiene lentes/elipsoides tectónicas de magnetita de hasta 1 cm de largo en una matriz cuarzofeldespática de grano medio. La magnetita podría ser de origen nodular pero es más probable de que son boudins tectónicos. La roca tiene alrededor de 15% de magnetita.

(b) En el Río Condue pequeñas diseminaciones de magnetita ocurren dentro de una segregación pegmatítica de 5 cm de ancho dentro de un rodado del granito Condue.

3.1.4 Titanio

Megacristales de rutilo (TiO_2) (confirmados por análisis de DRX)ocurren aislados dentro de un paragneís de grano medio cerca de Monte Olivo (Mapa 2). Los cristales miden hasta 4 x 3 x 2 cm y son de color rojo y translucente con una dureza de alrededor de 6 y un buen clivaje. Los cristales están asociados con pequeñas bolsas pegmatíticas (feldespáticas? y las ocurrencias caen dentro de la faja "pegmatítica" de Monte Olivo. Esta ocurrencia de megacristales de rutilo es interesante desde el punto de vista de coleccionistas, pero no en sentido de yacimientos de titanio.

3.2 OCURRENCIAS DE MINERALES NO METALICOS

3.2.1 Mica

Se encuentran "libros" de muscovita hasta el tamaño de 5 cm en las "pegmatitas" por la zona del Río Minas (Mapa 1) y hasta 3 cm en las "pegmatitas" al este de Monte Olivo.

3.2.2 Piedra ornamental

El granito Condue tiene una fase con megacristales de feldespato-K hasta de 5 cm de largo dentro de una matriz de grano grueso.

3.2.3 Turmalina

Este mineral es común por la faja "pegmatítica" por los sectores del Río Minas (Mapa 1) y Monte Olivo (Mapa 2) donde los cristales alcanzan tamaños de 3 cm de largo. Sin embargo, la turmalina es de tipo scorlita (negra) y parece que no hay un potencial para la industria de gema semi-preciosa.

3.2.4 Zoisita

Se encontró cristales elongados de zoisita (confirmados por análisis de DRX) verde semi-translucente de hasta 4 cm de largo dentro de vetas de cuarzo, en la faja "pegmatítica" cerca al Monte Olivo (Mapa 2). Son de interés de coleccionistas.

3.3 POTENCIAL MINERAL

3.3.1 La zona pegmatítica de Monte Olivo

Subiendo la trocha al este de Monte Olivo (Mapa 2) por la zona de transición esquisto/paragneís, se encuentran la presencia de turmalina y megacristales de muscovita, zoisita y rutilo en esquistos/-paragneises tipo "pegmatisadas".

Subiendo al este del Río Minas (Chamizo Grande) (Mapa 1) se encuentran bloques rodados de pegmatita los cuales vienen del mismo sector de transición esquisto/paragneís. La pegmatita muestra grandes cristales de feldespato-K ahumado los cuales alcanzan hasta 10 cm, pero por la mayor parte son destruidos por una textura secundaria de cuarzo/feldespato blanco de tamaño de grano reducido, hasta que algunas muestras parecen como aplitas. Algunas texturas parecen como greisen.

Las pegmatitas/aplitas llevan turmalina, hojas grandes de muscovita y en algunos ejemplos cristales pequeños de granate. Algunos bloques tienen una foliación tectónica y se pueden relacionar a un evento sin/post tectónico.

Se puede proponer una faja pegmatítica desde Monte Olivo hasta el Río Minas correspondiendo a la zona de transición esquisto/paragneís por una distancia de 20 km, apoyado por la presencia de rodados de pegmatita en el Río El Carmen el cual viene del norte de Monte Olivo.

También hay bloques de pegmatita por el puente del Río Blanco de Sigsigpamba los cuales pueden indicar una extensión de la faja pegmatítica por otros 10 km más al sur, mientras que la existencia de bloques de pegmatita en el Río Minas (Mapa 1) indica una probable extensión de la faja más al norte.

Así la faja pegmatítica Monte Olivo es una zona regional relacionada posiblemente a niveles altos del cinturón del granito Tres Lagunas, lo cual, al sur en la Cordillera Real puede llevar turmalina y trazas de mineralización Sn-W (Litherland, 1988)

El potencial mineral de la faja pegmatítica Monte Olivo es todavía desconocida por falta de estudios. Cabe notar la presencia de turmalina, mica y granate, y los minerales zoisita y rutilo y la posibilidad de que la zona sea una fuente de oro. Sin embargo, ninguna muestra de la zona tiene radioactividad anómala por scintilometro y no hay informes de mineralización por una zona relativamente accesible.

3.3.2 Conclusiones

Aparte de un potencial mineral relacionado a la faja pegmática Monte Olivo, y una fuente de oro aluvial del Río Minas, parece que los sectores más al este son estériles. La granodiorita Maynas y el granito Condue solo muestran mineralización Cu y Fe de pequeña escala.

4 REFERENCIAS

Litherland, M. 1987. Proyecto Cordillera Real Primer Informe Anual, INEMIN-Misión Británica, no publicado.

Litherland, M., 1988. Proyecto Cordillera Real, Segundo Informe Anual INEMIN-Misión Británica, no publicado.

Litherland, M. y Bermúdez, R. 1987. Informe Técnico Ibarra-Tulcán. INEMIN, No. 0265, no publicado.

Salazar, E. Cilio, E. y Díaz, L. 1986. Mapa geológico de la Hoja San Gabriel. INEMIN.

Santamaría, W. y Sierra, J. 1988. Breve explicación de la Geología de la Hoja Mariano Acosta. INEMIN.

Dr. Martin Litherland
JEFE DE LA MISION BRITANICA

cc. Misiones Internacionales

INEMIN

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

APENDICE 1c

No. 01270

Quito, marzo 06, 1990

PARA: GERENTE TECNICO
DE: DR MARTIN LITHERLAND
ASUNTO: INFORME TECNICO DE LA COMISION POR LA ZONA LA BONITA, LA SOFIA Y PUERTO LIBRE, PROVINCIA DE SUCUMBIOS DEL 09 DE ENERO AL 02 DE FEBRERO DE 1990.

I. INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

El Proyecto de Colaboración Técnica entre los gobiernos de Ecuador y Gran Bretaña, contempla la recopilación de datos de campo que permitan conocer la geología de la Cordillera Real, tendiente a establecer un modelo de los procesos de su formación así también, su relación con los ambientes que gobiernan un posible potencial minero, para futuros trabajos locales concernientes al Instituto Ecuatoriano de Minería.

1.2 OBJETIVO

La comisión motivo del presente informe se efectuó del 09 de enero al 02 de febrero de 1990. El objetivo fue estudiar las rocas metamórficas y plutónicas de los sectores de La Bonita-La Sofía-Río Cofanes y La Bonita-Puerto Libre.

Esta comisión cumplió con los objetivos programados.

1.3 PERSONAL ASIGNADO

Dr. Martin Litherland (ODA/BGS)
Sr. Laureano Saltos (INEMIN)
Sr. Mario Nuñez (INEMIN)

1.4 TRANSPORTE

Jeep Land Rover placa AT-0274 de la Misión Británica.

AV. 10 DE AGOSTO 5540 Y VILLALENGUA TELFS. 240-209 - 246-559 - TELEX 21182 - CASILLA 23-A - QUITO - ECUADOR

1.5 DETALLE DE ACTIVIDADES

Enero

09	Quito (compras) - El Higuerón
10	Contrato de jornaleros en La Bonita
11-22	Estudios metamórficos en La Bonita, Valle Negro, La Sofía, ríos: Cofanes, Laurel, Condue, San Jorge.
23	La Sofía - La Bonita
24-30	La Bonita - Puerto Libre
31-2 Feb	Puerto Libre - Lago Agrio - Quito.

1.6 ACCESO

El camino nuevo El Carmelo-La Bonita ya ha llegado por el Higuerón, y el camino piloto llegó a La Bonita, durante la comisión. Hay camino de trocha entre La Bonita-La Sofía y La Bonita - Puerto Libre. Hay tarabitas para cruzar los ríos Cofanes y Laurel (cerca de La Sofía) y el Chingual (cerca de la Quebrada El Recodo). Más abajo, en el Cofanes utilizamos un bote de plástico para cruzar el río.

1.7 METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología se anota notaba en Litherland (1987). Fueron recolectadas:

Muestras de minerales pesados	15
Muestras fluviales	15
Muestras petrográficas	48

1.8 TRABAJOS PREVIOS

La mayor parte de la zona de estudio pertenece a la Hoja Geológica San Gabriel (Salazar et al 1986). Al norte de La Bonita también fue objeto de estudio por Litherland y Bermúdez (1987). El sector del Río San Jorge consta en la Hoja Mariano Acosta (Santamaría y Sierra). Un estudio de reconocimiento de los ríos Cofanes y Chingual fue llevado a cabo por Moreno y Viteri (1979), Vera (1980) hizo un estudio de la ocurrencia de fosforita uranífera en el Río Chingual.

2 GEOLOGIA

2.1 ROCAS SEDIMENTARIAS Y METASEDIMENTARIAS

2.1.1 Paragneís

Se encuentra paragneís de grano fino a medio con biotita y muscovita en forma de rodados que provienen del NO de la zona milonítica de la falla Cofanes.

2.1.2 "Chert"

Al norte de Rosa Florida, al oeste de la falla Rosa Florida se encuentran afloramientos de "chert" con pizarras negras y con poca deformación y alteración. La roca muestra laminaciones de estratificación "chert" (pálido), pizarra (negra) y sulfuros.

La misma formación sigue por el SO, como es evidente en forma de rodados en el Río Palmar y las quebradas Industria y Las Juntas. Estos rodados demuestran rocas silíceas finas interlaminadas de colores rosado, pálido, verde pálido y negro, con alteraciones feldespáticas, en lugares de feldespato rosado (adularia?).

Las mismas litologías se encuentran también como bloques rodados por el sector de La Sofía, en los ríos Cofanes y Laurel y la Quebrada Chisparosa, indicando la repetición de la formación más al oeste (probablemente por medio de imbricación tectónica). En estos rodados el chert también es alterado por epidotización y feldespatización y bandas calcáreas y otros ricos en ¿granate?.

El "chert" es un horizonte de guía por el sector. Los afloramientos norte de Rosa Florida parecen ser de origen sedimentario, pero, por los otros sectores es posible un protolito volcánico silíceo.

2.1.3 Mármol

Hay bloques de mármol gris de grano medio en el Río Cofanes.

2.1.4 Formaciones cretácicas

Las calizas y pizarras negras de la Formación Napo y las areniscas y lutitas rojas de la Formación Tena afloran en el sur. Nodulos septarianos ocurren en la Formación Napo.

2.2 ROCAS GRANITOIDES Y METAGRANITOIDES

2.2.1 Plutón La Bonita

El pueblo de La Bonita se encuentra sobre un cuerpo plutónico granodiorito-tonalítico biotítico con o sin hornblenda. Por la mayor parte la roca es foliada tectónicamente con minerales orientados y por las cercanías de las fallas La Bonita y Cofanes se encuentra un gneís milonítico con catacristales de tipo "ojos". No se conoce su extensión en el sur.

Se ha interpretado otro cuerpo de composición semejante por el sector de Valle Negro (La Bonita-La Sofía). Se supone una repetición del plutón La Bonita por imbricación tectónica.

La roca dominante es la granodiorita-tonalita pero hay litotipos menores como diorita, gabro y hornblendita los cuales se encuentran como bloques rodados. En secciones y rodados al sur de la Quebrada Resbalosa se nota fases dioríticas convertidas a anfibolita por cizallamiento. Por el mismo sector se nota la abundancia de xenolitos máficos, los más frescos son de pórfido andesítico (greenstone). Hay también evidencia de diques máficos.

El plutón La Bonita es semejante en aspectos litotectónicos al plutón Chingual más al norte (Litherland y Bermúdez 1987) lo cual fue datado por el Rb-Sr a 156 ± 21 (en Litherland, 1988).

2.2.2 El Plutón Condue

Un granito alcalino (monzogranito biotítico), rosado a gris, sin foliación tectónica, fue ubicado por el Río Condue aguas arriba (Litherland, 1989). En la comisión presente, el Río Condue fue visitado en su confluencia con el Río Cofanes. Allí hay afloramientos de un granito semejante, que también domina las litologías de bloques rodados. Así el granito Condue está interpretado por todo el Río Condue.

El plutón también aflora al oeste de la falla La Sofía en el Río Laurel, y en el Río Cofanes aguas arriba de la confluencia del Río Condue. También hay rodados del granito en estos ríos y en las quebradas Pilares y San Jorge más al sur, indicando la gran extensión del plutón.

Por la zona de La Sofía los afloramientos y rodados del granito son de color gris a blanco y de tamaño de grano medio a grueso. Los xenolitos están ausentes con excepción de algunos bloques en el Río Cofanes con xenolitos

ricos en biotita fina, parcialmente asimilada. Hay también intrusivos menores félsicos o de pórfido hasta de 2 m de espesor.

Rodados en la Quebrada Pillares indican un granito gris con pequeños xenolitos biotíticos, un granito rosado grueso con tabletas de feldespato-K, y un granito de grano medio con estructuras agmatíticas de xenolitos volcánicos y rocas verdes andesíticas, las dos litologías escencialmente no deformadas.

2.2.3 El plutón Rosa Florida

Este se ubica por el sector de Rosa Florida y por el sur hasta el Río La Chispa. Las litologías son dominadas por un alto porcentaje de feldespato, sea de litotipo plutónico o subvolcánico, y con poco contenido de cuarzo libre (estimado entre 0% y 15% con la lupa). Las rocas ígneas son con texturas granulares y sin foliación ígnea o tectónica. Del norte (Rosa Florida) hasta el sur (Río La Chispa) las litologías ígneas van disminuyendo en tamaño de grano desde rocas plutónicas de grano grueso hasta rocas de grano medio mezclados con pórfidos y aglomerados. Al sur del Río La Chispa dominan las rocas de grano medio a fino, con aglomerados, y están denominados volcánicos "Misahuallí" en el mapa, pero en realidad en el campo se da cuenta de una sola entidad subiendo de norte a sur de los niveles plutónicos a subvolcánicos hasta niveles volcánicos.

En el norte las rocas plutónicas de grano grueso están dominadas por monzonitas de cuarzo con biotita con o sin hornblenda. Más al sur acercándose al Río La Chispa los dominantes son micromonzonitas y microsienitas. Las sienitas tienen un color rosado fuerte por el alto contenido de feldespato-K.

En los afloramientos de la Quebrada Industria la monzonita de cuarzo tiene xenolitos de rocas verdes hasta de 5 x 4 cm con vestigios de epidotización y en la misma quebrada hay rodados de roca de epidota y skarn. En otros afloramientos hay diques de roca verde y es probable que esta fase máfica fue intruida dentro del magma monzonítica: autobrechificación.

2.3 ROCAS VOLCANICAS Y METAVOLCANICAS

2.3.1 Volcánicos "Misahuallí" del Río La Chispa

En el Río La Chispa hay rodados de aglomerados, pórfidos ácidos y areniscas tobaceas indicando un complejo volcánico a niveles altos del plutón Rosa Florida. Estas rocas

volcánicas siguen más al sur hasta la falla La Barquilla e incluye también tobas verdes bandeadas y rocas verdes con estructuras orbiculares epidóticas.

En el Río La Chispa los aglomerados demuestran clastos volcánicos y de sienita. Elongación de clastos es por compactación porque los más competentes no están deformados.

Se puede correlacionar estos volcánicos con los volcánicos Misahuallí de edad Jurásica.

2.3.2 Volcánicos con clivaje

Por el camino nuevo al norte de La Bonita, y por parte del camino La Bonita - La Sofía, y por una parte del camino La Bonita - Rosa Florida, hay afloramientos y rodados de rocas volcánicas con foliación tectónica (clivaje).

Por el norte de La Bonita son volcánicos masivos y clivados de color púrpura, verde, pálido y gris con alteración epidótica. Son de grano fino a medio y de composición mayormente ácida. Hay meta-aglomerados pero los metasedimentos están ausentes. En algunos sectores las rocas parecen pórfidos metamorfizados. También hay sectores pequeños de metadiorita. Esta secuencia está también expuesta en el camino La Bonita - Rosa Florida.

Por el camino La Bonita - La Sofía los primeros volcánicos clivados (Río Sucio) son pálidos y alterados a caolín. Por el Río Laurel son de colores verde y rojo.

2.3.3 Volcánicos miloníticos

Estos ocurren por el camino nuevo al norte de La Bonita. Hay una transición entre volcánicos clivados y volcánicos/plutónicos miloníticos, acompañado por el desarrollo de estructura de "ojos" feldespático y el desarrollo de biotita y muscovita fina. Se encuentran estas milonitas por la falla La Sofía, y por el sur de La Bonita por la falla Rosa Florida.

2.4 ROCAS MAFICAS Y ULTRAMAFICAS

Se han encontrado bloques rodados de hornblendita y gabro, los cuales probablemente representan fases del plutón La Bonita.

Rodados de serpentinita y anfibolita fueron vistos en el Río Cofanes aguas arriba de la confluencia con el Río Condue.

Un rodado de esquisto ultramáfico tremolítico fue encontrado en la Quebrada Pilares.

2.5 SKARNS

Un bloque de skarn de grano fino con epidota y granate fue encontrado en la Quebrada La Industria. La roca se parece a los skarn Llanganates de tipo cálcico magnético, descubierto más al sur en la cordillera.

2.6 INTRUSIVOS MENORES TARDIOS

Por el camino al norte de La Bonita hay una abundancia de diques de pórfido orientados subparalelos a la foliación milonítica. Se nota solo lo más ancho en el mapa.

2.7 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

2.7.1 Estructuras pre-cretácicas

Hay una serie de fallas las que afectan las rocas precretácicas y las que están asociadas con estructuras penetrativas regionales, milonitización local, y metamorfismo regional.

Las estructuras fundamentales son las fallas Cofanes, La Bonita y Rosa Florida. La falla Cofanes está marcada por milonitas por el Río Cofanes en el sur y por milonitas al margen de la "falla La Sofía" en el norte. Las milonitas demuestran lineaciones de mineral vertical indicando movimiento relativo vertical por una foliación tectónica con fuerte inclinación hacia el oeste. Sin embargo por el Río Cofanes las milonitas no tienen rumbo paralelo a la falla, indicando probablemente, una etapa tardía de rejuvenecimiento.

La falla La Bonita también demuestra milonitas con estructuras inclinadas fuertemente al oeste.

La falla Rosa Florida buza a un ángulo más bajo al oeste y divide rocas con foliación tectónica (al oeste) de rocas sin deformación (plutón Rosa Florida) al este. Por eso está considerado como el "frente cratónico" durante el evento tectónico "Jurásico".

Se puede interpretar las fallas como una serie de corrimientos con movimientos hacia el este. Los pliegues menores asociados tienen ejes sub-horizontales.

La falla Sofía, la que divide el granito Condue y las rocas metamórficas, también puede ser de edad pre-cretácica. La falla Sofía (rumbo 40°) sigue a la falla Cofanes-Sofía (faja milonítica) por parte de su curso. Las rocas al lado de la falla tienen diaclasas de arrastre con rumbos ca 350° y 100°; una de las últimas demuestra movimiento sinistral. Este movimiento de diaclasas puede indicar un movimiento dextral por la falla Sofía, (según Moody y Hill (1956) el mismo sentido que indica el desplazamiento regional de las milonitas.

2.7.2 Estructuras post-cretácicas

Se encuentra evidencia directa por movimientos post-cretácicos en las formaciones cretácicas. En la zona de la falla La Barquilla un clivaje local subvertical está impuesto en las rocas de la Formación Napo con espejos de fricción indicando movimiento vertical. Se puede interpretar esta estructura como una falla reversa.

Más al sur donde las formaciones cretácicas son escencialmente sub-horizontales y sin clivaje la falla Puerto Libre sobrecorre la formación Napo arriba de la Formación Tena. Esta falla de sobrecorrimiento tiene un ángulo bajo hasta el oeste (Vera, 1980).

2.8 HISTORIA GEOLOGICA PROVISIONAL

(1) La granodiorita La Bonita y el plutón Rosa Florida intruyen sus efusivos volcánicos en tiempos Jurásicos.

(2) Tectonismo (¿de colisión?) produjo una serie de corrimientos hacia el este hasta la falla Rosa Florida (límite del cratón) asociada con zonas miloníticas y metamorfismo regional.

(3) Intrusión del granito Condue (¿Jurásico?) lo que corta las milonitas.

(4) Falla Sofía (dextral).

(5) Deposición de las formaciones cretácicas.

(6) Fallas Puerto Libre, La Barquilla; intrusión de pórfidos menores.

3 GEOLOGIA ECONOMICA

3.1 OCURRENCIAS DE MINERALES METALICOS

3.1.1 Oro

Hay lavaderos de oro en el Río Cofanes abajo de La Sofía y en el sector de Puerto Libre, donde el pueblo de alrededor de 30 familias se dedica a la minería, y donde hay operaciones de la compañía minera Arajuno del Ing Estebán Crespo.

Según el Sr Narvaez de La Sofía, el oro aluvial abajo de La Sofía fue descubierto en 1979 después de un periodo de mal tiempo y derrumbes. En este sector se ha encontrado pepitas de hasta 30 gr. El Sr Narvaez dijo que el oro viene del Río Cofanes arriba de las confluencias con los ríos Condue, Tigre Grande y San Antonio, es decir, de sus cabeceras. De acuerdo a nuestros estudios los cuatro ríos que forman el Río Cofanes arriba de La Sofía tienen oro aluvial. Pero de estos cuatro había más oro en el Río Laurel que en el Cofanes (ver proporción de chispas: bateas en el mapa). También bateamos oro en el Río San Jorge y en el Río Palmar (tributario del Río Chingual).

También bateamos oro de la terraza aluvial de ca? 60 m de espesor lo cual ocupa el valle del Río Cofanes por el sector de la Sofía. alrededor

3.2.1 Cobre

Trazas de mineralización Cu han sido notadas en las siguientes localidades:

(a) En el Río Cofanes abajo de La Sofía hay vetillas (10 cm) de cuarzo concordante con la foliación milonítica en la granodiorita. En uno de ellos hay trazas de calcopirita con cristales de biotita hasta de 1 cm de tamaño.

(b) En el Río Cofanes arriba de La Sofía, había un rodado de roca milonítica con pirita y calcopirita en vetillas que siguen la foliación (mineralización sintectónica). Una roca semejante fue encontrada al sur del Río Sucio (No. 662) pero no se notaba la calcopirita.

(c) Hay bandas de mineral metálico hasta de 3 cm de ancho con calcopirita y ¿esfalerita? en rodados de "chert" feldespatizado en la Quebrada La Industria. Estos "cherts" siempre llevan mineralización pirita/¿calcopirita? donde ocurren como afloramiento o rodados.

(d) Al norte de La Bonita por el camino nuevo, hay una ocurrencia pequeña de calcopiritas en rocas metafélsicas silíceas en contacto con un intrusivo de pórfido Terciario. Es notoria la presencia de pirita en los metavolcánicos de ese sector especialmente en vetas de arrastre epidotizados.

(e) Pequeña mineralización Cu (¿covelita?) asociada con pirita y hematita se encuentra en una veta de cuarzo-epidota de 10 cm de espesor en un rodado de monzonita en la Quebrada Las Juntas.

3.1.3 Uranio

El afloramiento de fosforita uranífera (Vera, 1980) fue confirmado en el Río Chingual. La anomalía cintilométrica fue 320 cps con un background de 80 cps; Vera midió 440 cps.

3.2 OCURRENCIAS DE MINERALES NO METALICOS

3.2.1 Asbesto

Es común la presencia de asbesto de anfibol por las superficies de cizalla en rocas máficas, ej. rodados de greenstone epidotizado en el Río Palmar.

3.2.2 Carbonato

Aparte de las calizas de la Formación Napo, existe rodados de mármol y de travertino masivo en el Río Cofanes.

3.2.3 Caolín

El sector del plutón Rosa Florida comprende rocas plutónicas y subvolcánicas feldespáticas y su alteración produce depósitos de alto contenido de caolín/arcilla.

3.2.4 Fosfato

El afloramiento de fosfato uranífero de Vera (1980), fue visitado. La banda solo tiene 30 cm de espesor. Boujo et al (1984) trató del potencial fosfático de la región.

3.2.5 Granate

Una muestra de unos granates de hasta 5 cm de tamaño fue vista en Puerto Libre, sacada, según el dueño, de la Quebrada Culebrillas, cerca de La Bonita. Este mineral es la "rubia" de la zona.

3.2.6 Piedra Ornamental

La "sienita" del Río La Chispa con su color rojizo y las "monzonitas" (minerales grises y rosado pálido) podrían ser considerados en busca de piedra ornamental.

3.2.7 Petróleo

En el Río La Chispa, y dos afluentes del Río Chingual más al sur, hay rodados pequeños de lutita bituminosa. Se supone que las lutitas provienen de la Formación Napo.

3.2.8 Pizarra

Por la ruta al norte de Puerto Libre hasta el Río Recodo el camino va encima de un cerro alongado de la Formación Napo. Las pizarras negras encontradas podrían ser utilizadas como tejadas.

3.2.9 Ripio

Los Habitantes de La Bonita y Rosa Florida excavan pozos en las rocas plutónicas intemperizadas para utilizar como ripio en las trochas de mula.

3.3 POTENCIAL MINERAL

Todavía no se sabe la fuente (o fuentes) de oro de los ríos Cofanes y Chingual. La información de campo en este informe con los resultados de los análisis (de roca, fluviales y pesados) puede dar más luz en el asunto.

Al momento se puede indicar ciertas posibilidades:

(1) Concentración de oro por las zonas mayores de cizalla (milonitas); esto será apoyado por la presencia mayor de oro en el Río Laurel, el cual corre por la falla Cofanes-La Sofía. Se había notado la mineralización Cu sintectónica en las milonitas.

(2) Los intrusivos menores cenozoicos en la zona de cizalla, subparalelas a la foliación milonítica, también podrían concentrar el oro. Se había notado mineralización Cu por los contactos.

(3) Concentración de oro en los "cherts" alterados (feldespatizados), una litología que siempre llamó la atención por su mineralización de sulfuros y presencia de feldespato-K (¿adularia?).

(4) Otras posibilidades incluyen a skarns y serpentinitas pero parece que como solo ocurre cada litotipo en un solo río/quebrada, no tienen una distribución suficientemente amplia.

4 REFERENCIAS

Boujo, A., et al, 1984. Proyecto Fosfatos, DGGM, Quito, no publicado.

Litherland, M., 1987. Proyecto Cordillera Real: Primer Informe Anual, INEMIN-Misión Británica, Quito, no publicado.

Litherland, M., 1988. Proyecto Cordillera Real: Segundo Informe Anual INEMIN-Misión Británica, Quito, no publicado.

Litherland, M., 1989. Informe de comisión Monte Olivo-Río Condue y la zona de Río Minas. INEMIN No. 10296, no publicado.

Litherland, M., y **Bermúdez R.**, 1987. Informe Técnico Ibarra-Tulcán, INEMIN No. 0265, no publicado.

Moody, J.D. y Hill, M. J., 1956. Wrench fault tectonics Bull, Geol. Soc. Amer., 67, 1207.

Moreno, A y Viteri, F., 1979. Esquema geológico de la cuenca alta del Río Aguarico. INECEL, Quito, no publicado.

Salazar, E, Cilio, E. y Díaz, L., 1986. Mapa geológico de la Hoja San Gabriel. INEMIN, Quito.

Santamaría, W. y Sierra, J., 1986, Mapa Geológico de Hoja Mariano Acosta. INEMIN, Quito, en prensa.

Vera, R., 1980. La fosforita uranífera, Río Chingual, Chingual, Provincia de Napo. Politécnica, Monografía de Geología, Vol. No. 2, 47-55.

Dr Martin Litherland

INEMIN

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

No. 5003

APENDICE 1d

Quito, junio13 , 1989

PARA: GERENTE TECNICO
DE: DR JOHN ASPDEN E ING FRANCISCO VITERI S.
ASUNTO: INFORME TECNICO DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS EFECTUADOS ENTRE OÑACAPA-YACUAMBI; Y JIMBILLA-RIO QUIMI DEL 11 AL 29 DE ABRIL DE 1989.

I INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Dentro del Convenio de Cooperación Técnica que están llevando a efecto los Gobiernos de Ecuador (INEMIN) y Gran Bretaña (ODA-BGS), contempla la recopilación de información geológica de campo que permite conocer la geología de la Cordillera Real, tendiente a establecer un modelo de los procesos de formación, así también su relación con los ambientes que controlan un posible potencial minero, para futuros trabajos locales detallados.

1.2 Objetivo

La comisión motivo del presente informe fue efectuada del 11 al 29 de abril del presente año, su objetivo fue el de realizar un estudio geológico con el fin de confirmar o discutir el modelo existente en el sur del país, este estudio de travesía a pie se lo realizó en dos grupos, el primero desde la población de Oñacapa, por la margen izquierda del Río Negro hasta Yacuambí, y el otro desde Jimbilla (Prov. de Loja)-Los Guabos, margen izquierda del río Sadal y río Quimi.

1.3 Personal Asignado

Para llevar a efecto este trabajo, se tuvo que realizar en dos grupos, con el fin de cubrir con más amplitud el área geológica de interés por dos sectores; a) sector comprendido entre Oñacapa-Río Negro-La Florida-Yacuambí y b) Jimbilla-Río Sadal-Río Quimi.

Grupo No. 1 Jimbilla-Río Sadal-Río Quimi.

Ing Francisco Viteri

Grupo No. 2 Oñacapa - Yacuambí.

Dr John Aspden
Sr Manuel Célleri

AV. 10 DE AGOSTO 5540 Y VILLALENGUA TELFS. 240209 . 246559 - TELEX 21182 - CASILLA 23-A - QUITO-ECUADOR

Chofer: Sr Washington Cevallos.

1.4 Medio de transporte

Se utilizó como medio de transporte un Jeep Land Rover de la Misión Británica AT-0056.

1.5 Detalle de actividades

La recopilación de la información geológica de campo, se realizó de acuerdo al siguiente detalle de actividades:

Grupo No. 1

Abril 11	Quito - La Toma
12	Loja - Jimbilla
13	Jimbilla - Los Guabos
14	Los Guabos - Río Cristal
15	Río Cristal - Río Verde
16	Río Verde - Cordillera Chivato
17-18-19	Cordillera Chivato - Unión Sadal
20	Unión Sadal - Cabecera Río Sadal
21-22-23	Margen izquierda Río Sadal
24-25	Quebrada Honda
26	Río Negro
27	Río Quimi y Unión Río Negro (sitio de rescate)
28	Loja
29	Loja - Quito

Grupo No. 2

Abril 13	Loja - Masaca - Las Juntas - Saraguro
14	Saraguro - Oñacapa - H. Aguarnuda
15	H Aguarnuda - Río Quingueado
16	Río Quingueado - Río Negro
17	Río Negro - La Florida
18	La Florida - Chivato
19	Chivato - Río Ingenio
20	Río Ingenio - Río Garcelan
21	Río Garcelan - Yacuambí - Zamora
22	Zamora - Loja
23-28	Loja (período utilizado en planificación y búsqueda para el rescate del Ing F. Viteri S.)
29	Loja - Quito.

1.6 Geografía e Hidrografía

En el sector norte, predominan zonas altas de páramo con altitudes variables entre 3000 - 3300 metros sobre el nivel del mar, siendo estas zonas planas, poco irregulares, existiendo pequeños cerros

como el Piedras, Gavilán; siguiendo hacia la parte oriental se vuelve muy escarpado, teniendo como accidente topográfico la Cordillera de Sushano la cual llega hasta muy cerca de la población de Yacuambí.

En lo que respecta al sur de la zona de estudio, existen varios accidentes topográficos importantes, consecuencia de lo cual el relieve en el corte realizado es muy irregular, entre los accidentes metamórficos tenemos la Cordillera de Los Guabos, de Sharan, Cordillera de Chivato y Sadal y el Filo Sadal. Sectores en los cuales el relieve es muy escarpado con pendientes verticales.

En lo referente a la hidrografía en el norte de la zona de estudio en las partes altas existen dos drenajes muy conocidos como Río de la Plata (Río Negro) y el Quingueado los mismos que drenan hacia la parte subandina tomando luego el nombre de Garcelán y Río Ingenio los que drenan hacia el río Yacuambí.

En el sur de la zona de estudio tenemos que hasta antes de virar la Cordillera de Chivato todos los drenajes (ríos y quebradas) drenan hacia el sur o sea hacia el río Zamora (Hoja topográfica Loja Norte).

Al otro lado de la Cordillera Chivato los ríos principales drenan hacia el norte y luego al oriente, entre los que tenemos el Río Sadal Sordomoros y Peñas Encantadas, los que unidos con el Río Negro que drena de sur a norte forma el Río Quimi.

1.7 Clima

Las condiciones topográficas mencionadas tienen su repercución en el clima de la región, el mismo que va de frío y gélido en zonas altas a templado en zonas bajas.

En lo que respecta a los climas fríos dan temperatura bajo cero corresponden a sectores comprendidos entre 3000 - 4000 msnm, características existentes en el Cerro Piedras, en el norte y en el sur en la Cordillera Chivato y Filo Sadal.

Para clima templado, puede ser considerado el flanco oriental de la Cordillera Real, con temperaturas de 12 a 20° C. correspondiente a sectores de 1000 - 3000 msnm en la que tenemos las poblaciones de Yacuambí, Chivato y Quimi y todo el valle de los ríos Quimi, Ingenio y Yacuambí.

1.8 Acceso

Para llegar a Yacuambi desde Oñacapa (Tambo-Pamba) se toma un camino de herradura el cual pasa por el Río Aguarnuda y es necesario subir hasta 3200 msnm y llegar a la cabecera del Río Quingueado, luego hay que tomar un camino grande para caer al Río Negro y seguir bajando para el Río Ingenio muy cerca de la población de Yacuambí.

Para la travesía al sur de la zona de estudio, se tuvo que tomar desde Jimbilla un camino de herradura hasta Los Guabos, luego se toma una trocha muy dificultosa a pie. Hasta un filo que forman los ríos Tibio y Cristal y luego de este existen pequeños caminos y trochas realizadas en los últimos días y también existen antiguos caminos, por lo que se tuvo que seguir más al norte para tomar el río Verde y poder llegar al Río Negro por una trocha antigua avanzando hasta la Cordillera Chivato, pero lamentablemente fue imposible debido a dos problemas muy graves esto es el clima y la caída de un trabajador. Desde este punto (Filo de la Cordillera Chivatos) pudimos localizar a la distancia en la Unión Sadal (Hoja topográfica Las Juntas) una casa, esto en parte ayudó para poder seguir más al nororiente y evitar así el paso por la Cordillera de Sadal y poder pasar al Río Negro.

Siguiendo el Río Sadal se inicia una travesía muy peligrosa, abriendo trocha en unos sectores muy pendientes hasta llegar al sitio denominado la Unión del Sadal (Hoja topográfica Las Juntas) para luego seguir la margen izquierda del río Quimi también abriendo trocha, y llegar luego de quince días de caminata a la unión de los ríos Quimi y Negro.

1.9 Trabajos previos

Muy cerca de la parte norte se han realizado varios estudios por parte del Proyecto y otros autores así:

- Existe la Hoja topográfica de Saraguro, realizada por J. B. Kennerley (1969-1972) escala 1:100.000, el mismo que realizó un reconocimiento cerca a la zona de estudio, principalmente por los sectores conocidos como Tres Lagunas, al oeste de Saraguro.

- Así mismo se ha realizado por parte del Dr J. B. Kennerley e Ing Almeida (1969-1970), estudios geológicos locales hasta la zona de Jimbilla, sin existir otros trabajos previos desde este punto hasta el río Quimi, indicados en la Hoja Geológica Loja, escal 1:100.000.

- Los miembros del Proyecto; Aspden J. y Viteri F. (1987), efectuaron una travesía geológica desde Oña-Loma Voladora-Yacuambí y en noviembre 1988 otra travesía desde Nabón-Shingata-Tutupali.

2 GEOLOGIA DEL SECTOR COMPRENDIDO ENTRE OÑACAPA-YACUAMBI (MAPA No.1)

2.1 Introducción

La travesía geológica realizada desde el sector conocido como Oñacapa hasta muy cerca a Yacuambí, es decepcionante, debido a que gran parte del camino de herradura sigue las partes altas, por lo cual los afloramientos son muy limitados y cuando existen rocas, éstas están muy meteorizadas, sin embargo la distribución regional de las unidades de rocas ha sido establecida, y esta información representará un aporte a nuestros conocimientos anteriores.

2.2 Volcánicos cenozoicos (en el oeste) Cu.

Estas rocas están extensamente desarrolladas en la parte oeste de la zona estudiada, las mismas que no han sido estudiadas a detalle pero consisten principalmente de tobas ácidas félsicas, incluyen también lavas intermedias a ácidas y aglomerados. De acuerdo a Baldock (1982) los volcánicos cenozoicos pertenecen a dos formaciones principales, la Saraguro y la Formación Tarqui.

Siguiendo al oriente, cerca del Cerro Piedras existen en menor cantidad tobas félsicas y lavas andesíticas-dacíticas? las que fueron observadas a lo largo del camino y en la parte este del Río Negro existen buenas exposiciones de estas rocas volcánicas. El grado de meteorización de estas rocas es fuerte a las que se incluyen posiblemente algo de material intrusivo de alto nivel. Estas rocas son tentativamente asignadas al cenozoico.

2.3 Rocas del complejo metamórfico

2.3.1 Conjunto Tres Lagunas (XgTL)

Tal como ha sido reportado en informes anteriores, el Conjunto Tres lagunas consiste tipicamente de granito/granodiorita con biotita, foliado con megacristales de feldespato potásico.

En esta travesía este conjunto está fuertemente meteorizado, y los mejores ejemplos de este conjunto fueron observados como bloques rodados en el Cerro Piedras y en buena parte de arroyos y quebradas ejemplo en el Río Quingueado (Hoja Saraguro 1:50.000).

Al este del batolito principal en el sendero fueron observados pequeños afloramientos (ventanas o apófisis?) del conjunto Tres Lagunas dentro de lo que consideramos la división Loja (ver mapa No. 1). Las foliaciones registradas fueron pocas pero generalmente tienen rumbo de cordillera y con buzamientos fuertemente inclinados hacia el oeste.

De acuerdo con interpretaciones fotogeológicas previas, se había determinado la existencia de dos prominentes depresiones circulares, a lo largo del margen occidental del conjunto Tres Lagunas (ver mapa No. 1). El que está ubicado más hacia el oeste de la parte alta del Río Pichanal fue visitado durante esta travesía, pero lamentablemente las condiciones climáticas fueron muy malas y se canceló la tentativa de alcanzar la depresión oriental, la cual es la mejor desarrollada de las dos.

En la depresión Pichanal, existen muy pocos afloramientos, pero son muy comunes los bloques del granito Tres Lagunas. En un sector un posible afloramiento fue muestreado el mismo que consiste de un granito de grano fino y textura azucarada (aplita) los mismos que llevan largos cristales de cuarzo en forma de ojos. Esta roca es considerada como una variación del conjunto Tres Lagunas en la cual la textura original plutónica ha sido destruída por eventos magmáticos tardíos (ver sección 3).

2.3.2 División Loja: (DL)

Igual que en varios sectores de la Cordillera Real, la división Loja consiste en este caso de una mezcla de rocas de tipo pelitas, semipelitas y psamitas, indicando dos clivajes penetrativos y pliegues apretados de menor escala (F2) los cuales generalmente son comunes y tienen inclinaciones moderadas a horizontales.

La relación entre el conjunto granítico Tres Lagunas y la División Loja no ha sido todavía establecida, pero se asume que el contacto original el cual ahora se presenta foliado fue un contacto intrusivo.

2.3.3 Otros tipos de roca

Hacia el lado este de Chivato en los ríos Plateado y Chivato, existen bloques rodados consistentes de pórfidos feldespáticos con biotita (muy comunes en el río Plateado), granodiorita biotítica, granito/granodiorita con biotita ± muscovita foliado y lavas andesíticas Estos tipos de rocas pensamos que pertenecen al complejo plutónico volcánico subandino (ver 1er y 2do Informes Anuales y reportes de travesía geológica), los mismos que están aflorando al este.

Actualmente este conjunto está siendo mapeado, pensando que se trata de un complejo de edad jurásica, aunque probablemente también incluye bloques más jóvenes y en particular rocas intrusivas de alto nivel terciario tipo porfiríticas.

Los plutones jurásicos y en particular el batolito de Zamora-Río Mayo son considerados como rocas o complejos de rocas que están incluyendo a la división Loja.

En el oeste en la unión de los ríos Casatura y Pichanal existen excelentes afloramientos de rocas intrusivas sin deformación, de tipo granodiorita con hornblenda y biotita a través de la espesa y potente covertura de volcánicos cenozoicos. Muestras de este batolito "Pichanal" han sido colectadas para estudio de dataciones radimétricas, pero asumimos que este batolito es equivalente al Plutón San Lucas de edad Terciario Inferior, el cual está expuesto en el sur a lo largo del camino que conduce desde Saraguro-Loja.

3 GEOLOGIA ENTRE JIMBILLA Y RIO QUIMI

3.1 Introducción

Esta travesía efectuada desde la población de Jimbilla hasta Quimi, geologicamente no presenta variaciones fundamentales, en lo que respecta al modelo geológico-estructural existente en el sur del país (2do Informe Anual, Proyecto Cordillera Real) sin embargo existen excelentes exposiciones de rocas principalmente semipelíticas y rocas intrusivas del batolito conocido como Zamora-Río Mayo.

La espesa vegetación en las estribaciones orientales de la cordillera, el clima, ríos torrentosos hizo que sea dificultoso encontrar buenos contactos entre los diferentes tipos de litología, la prolongación de la travesía en longitud y tiempo de 7 a 15 días, la falta de alimentos impidieron que se tengan mejores éxitos.

3.2 Plutón San Lucas

Desde la población de San Lucas hasta la quebrada Santa Bárbara, al este de Jimbilla existe un predominio de afloramientos de rocas de composición variable de graníticos a dioríticos, teniendo como principal mineral máfico la biotita, además existen tonalitas.

Este plutón fue mapeado por J. B. Kennerley y Almeida (1975), teniendo una área aproximado de 150 km^2, ahora pensamos que ésta es menor más o menos de alrededor de 100 km^2.

En el río Santa Bárbara existen principalmente dioritas, probablemente estas representan una fase temprana del intrusivo, esta observación está basada debido a que las dioritas ricas en hornblenda ocurren como xenolitos en los bloques de tonalita.

Así también, existen diques aplíticos de andesita/dolerita de rumbos variables, los mismos que son comunes tanto en la intrusión como en los alrededores de la división Loja.

Se han realizado varias dataciones radimétricas así:

- Hall y Calle 1982, han determinado edades de 52 $\pm$ 2 (biot); 60 $\pm$ (plag); 61 $\pm$ 1 (biot); 65 $\pm$ 2 (biot); y 68 $\pm$ 2 (plag).

- El Proyecto Cordillera Real (ver 2do Informe Anual - Proyecto Cordillera Real), dan edades de 53 ± 2 Ma, utilizando el método de rubidio/estroncio.

Estos resultados indican que el plutón San Lucas es jóven probablemente terciario, y la presencia de tonalitas foliadas (río Zenen) puede indicar eventos muy recientes.

3.3 Complejo Metamórfico

3.3.1 Conjunto Tres Lagunas (XgTL)

Entre la quebrada Santa Bárbara y muy cerca a la población La Chonta, existe una delgada faja de rocas miloníticas?, estas provisionalmente se las ha considerado como la extensión sur del conjunto Tres Lagunas (ver mapa No. 1) tomando como relación la geotravesía Oñacapa-Yacuambí

Esta faja delgada consiste de una roca intrusiva bastante foliada, pudiendo observarse como mineral máfico biotita, además están presentes megacristales de cuarzo y feldespato. Una vez que se tengan las láminas delgadas y su respectivo análisis se confirmará si se trata o no de éste conjunto. Los rumbos existentes en este sector, a pesar de que los afloramientos estan meteorizados son de cordillera (Andina) con buzamientos verticales y fuertes hacia el este.

Además es importante indicar de la existencia de grandes rodados del conjunto, con megacristales de feldespato potásico (10 cm) y cuarzo azul, en los ríos Sadal y Piedras Encantadas, lo que sugiere de la existencia de buenas exposiciones en los nacimientos de estos ríos.

3.3.2 División Loja

Esta secuencia de rocas es muy monótona en toda la extensión observada, consistiendo de pelitas, semipelitas, pizarras, psamitas entre las principales, además se localizó afloramientos de rocas verdes (metavolcánicos) en la quebrada El Guabo y en el río Cristal. Esta secuencia en su mayoría indica dos clivajes penetrativos con rumbos andinos y buzamientos fuertes. La edad de esta división es desconocida.

3.4 Rocas intrusivas

Desde la unión del río Negro y río Quimi, se pudo observar el cambio litológico de las rocas de la división Loja a rocas intrusivas del batolito conocido como Zamora-Río Mayo (ver 2do Informe Anual, Proyecto Cordillera Real), el contacto observado localmente es intrusivo, estas rocas se extienden hacia el sur y al este.

El batolito no ha sido estudiado a detalle, pero en observaciones macroscópicas de muestras de mano consisten principalmente de rocas intrusivas de composición variable, en este sector la variación va de granodiorita a diorita, teniendo como principales minerales máficos la biotita y la hornblenda.

Cerca al contacto con la división Loja, estas rocas presentan un clivaje pobremente desarrollado, el cual puede deberse a efectos tectónicos. El Proyecto ha realizado estudios de dataciones radimétricas en muestras tomadas en el Sector de Napurca, muy cerca al sitio de estudio, y de acuerdo a resultados obtenidos mediante la utilización del método Rb/Sr dan edades de 185 Ma.

4 GEOLOGIA ECONOMICA

4.1 Ocurrencia de Minerales metálicos

4.1.1 Oro

Se batearon la mayor parte de rios y quebradas durante los cruces realizados, pero desafortunadamente no se pudieron observar indicios de oro de importancia, existiendo pequeñas chispas en los arroyos afluentes del río Ingenio, además se pudo visitar a los pequeños lavadores del río Yacuambí, así también podemos decir que es de importancia la existencia de pequeñas chispas en los concentrados de muestras bateadas en los rios Quimi y Sordomoros; al momento contamos con muestras de sedimentos pesados los mismos que serán analizados en un futuro.

4.1.2 Estaño y tungsteno

Se esta poniendo mucho a todos los concentrados de batea de los drenajes que cortan las rocas del Conjunto Tres Lagunas, con el propósito de ubicar ocurrencias de estaño y tungsteno caracteristicos de rocas intrusivas de éste tipo.

Existen informes anteriores de la UNDP(1972) los mismos que reportan la presencia de Casiterita y Sheelita en los concentrados bateados de muestras recogidas en el río Pichanal.

4.2 Ocurrencia de Minerales no Metálicos

4.2.1 Kaolin

Existen importantes zonas de caolinización dentro del Conjunto Tres -

Lagunas, muy cerca del río Negro, las mismas que tienen un alto grado de intemperización (ver mapa No.1).

4.2.2 Turmalina

Muestras de turmalina poco meteorizadas fueron ubicadas al este de la población de Oñacapa(Pro.Loja), asociados a los granitos/granodioritas del Conjunto Tres Lagunas, estas se pueden observar en el camino que - conduce a Yacuambí, muy cerca al río Negro

4.2.3 Grafito

Existen buenos afloramientos de rocas metamórficos,en el lado nororien tal de la población de Jimbilla, en la Cordillera de Chivato, en el - margen derecho del ró Sadal,donde se pudieron observar exelentes aflo- ramientos de filitas frafitosas, estas rocas son correspondientes a - las semipelitas de la División Loja (ver 2do. Reporte anual del Pro - yecto Cordillera Real).

5. REFERENCIAS

PCR 1988 2do. Reporte Anual der Proyecto Cordillera Real, INEMIN - MISION BRITANICA, Quito,346pp (no-publicado).

ASPDEN,VITERI,F. 1987,Reporte de Comisión a las zonas de Saraguro - Loja, INEMIN,Quito.

KENNERLEY,J.B. 1972, Hoja Geológica de Saraguro, Escala 1:100.000, Dirección General de Geolgía y Minas,Quito.

KENNERLEY,J.B.,ALMEIDA,L. 1970,Hoja Geológica de Loja,Escala 1:100.000 Servicio Nacional de Geología y Mineria,Quito.

UNDP 1972, Survey of metallic and non-metallic minerals (Phase II), - Republic of Ecuador.Technical report No. 14 New York.

Ing. Francisco Viteri S.
INEMIN

Dr. John Aspden
MISION BRITANICA

INEMIN INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

No. 7132

APENDICE 1e

Quito, agosto 09, 1989

PARA: GERENTE TECNICO
DE: ING. FRANCISCO VITERI - PROYECTO CORDILLERA REAL
ASUNTO: INFORME TECNICO DE LOS TRABAJOS GEOLOGICOS REALIZADOS ENTRE TUTUPALI-ORTEGA ALTO-RIO CAMPANA URCO Y RIO CHUCHUMBLEZA, DEL 26 DE JUNIO AL 14 DE JULIO DE 1989.

1 INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

El Proyecto de investigación geológica de la Cordillera Real que se lleva a efecto mediante convenio de cooperación técnica entre los gobiernos de Ecuador y Gran Bretaña, contempla la recopilación de datos de campo que permitan conocer la geología de la Cordillera, tendiente a establecer un modelo de los procesos de su formación, así también su relación con ambientes que controlan un posible potencial minero, para futuros trabajos locales (a detalle) concernientes al Instituto Ecuatoriano de Minería.

1.2 Objetivos

La comisión motivo del presente informe técnico, fue efectuada del 26 de junio al 14 de julio de 1989; su objetivo fue el de realizar el estudio geológico en las inmediaciones de la Cordillera de Manga Urco, en los ríos Yacuchingari, Campana Urco y Ortega Alto, con el propósito de conocer con mayor claridad los contactos y sus características geológicas entre el conjunto Tres Lagunas-División Loja y División Loja-Batolito de Zamora.

Así también el de realizar un reconocimiento geológico en los ríos Cantzama, Chuchumbleza y Chicaña.

1.3 Personal Asignado

Para efectuar este trabajo la comisión estuvo encabezada por el Ing. Francisco Viteri, acompañado por el Sr. Manuel Célleri como asistente de campo y chofer.

AV. 10 DE AGOSTO 5540 Y VILLALENGUA TELFS. 240209 - 246559 - TELEX 21182 - CASILLA 23-A - QUITO-ECUADOR

1.4 Medio de transporte

Jeep Land Rover placa AT-0272 de la Misión Británica.

1.5 Detalle de Actividades

Se realizó la recopilación de información geológica mediante el siguiente detalle de actividades:

Junio de 1989

25 Quito - Loja (Sr. Célleri).
26 Quito - La Toma - Loja (Ing. Viteri).
27 Loja - Chapintza - Zamora.
28 Zamora - Chapintza - Yacuambí.
29 Yacuambí - Tutupali.
30 de junio 2 de julio Tutupali - Río Yacuchingari.

Julio de 1989

3-4 Tutupali - Santa Cleotilde.
5 Tutupali - Ortega Alto.
6-7 Ortega Alto - Río Espadillas.
8 Ortega Alto - Río Campana Urco - Ortega Bajo.
9 Ortega Bajo - Yacuambí.
10 Yacuambí - Río Cantzama - Zamora.
11-12 Zamora - Chuchumbleza - Chicaña - Gualaquiza.
13 Gualaquiza - Cuenca.
14 Cuenca - Quito.

1.6 Geografía e Hidrografía

La zona estudiada presenta un relieve bastante irregular con largas y elevadas divisorias, tales como el Filo de Ortega, Filo Espadillas, Cordillera Manga Urco, Cerro Santa Clara y Cerro San Antonio; en el sector oriental y en el occidental entre las principales características topográficas tenemos: la Cordillera Voladora, Moradillas entre otros menores y valles profundos a lo largo de los cuales drenan torrentosos ríos como el Tutupali, Zavala, Santa Cleotilde, Yacuchingari, Espadillas, Campana Urco, Paquintza que desembocan en el Río Zamora.

1.7 Clima y Vegetación

Las condiciones topográficas mencionadas tienen su repercusión en el clima de la región, el mismo que varía desde frío andino hasta el templado que influyen en la flora y fauna de la región, estas características de clima templado son aprovechados por los pobladores de la región para el cultivo de productos tales como: caña, maíz y yuca entre los más importantes.

2 GEOLOGIA

2.1 Introducción

Detalles de las observaciones geológicas de campo, realizadas en su mayor parte a pie, se puede observar en el mapa de travesía geológica Tutupali-Río Ortega que además incluye en su parte inferior tres pequeñas secciones geológicas de reconocimiento efectuadas en los ríos Cantzama, Chicaña y Chuchumbleza (ver mapa único); como en informes anteriores se deberá tomar en cuenta que todos los datos indicados son provisionales, unicamente basados en identificaciones macroscópicas de muestras de roca, debido a que al momento no se cuenta con secciones delgadas, tampoco con resultados geoquímicos.

2.1.1 Batolito Tres Lagunas

Este batolito, más conocido como conjunto Tres Lagunas (XgTL) fue nominado así, gracias a los resultados de campo llevados a efecto por la brigada Sur (Aspden, Viteri, 1987) del Proyecto de Investigación Geológica de la Cordillera Real, lugar en el cual fueron encontrados muchos afloramientos de granito biotítico deformado. En base a observaciones de campo realizadas con anterioridad en la travesía Cochapata-Yacuambí (Aspden, 1988) quien reportó de la existencia de rodados de XgTL en los ríos Yacuchingari y Tutupali se vió la necesidad de realizar un chequeo en estos sectores con el fin de establecer el tipo de contacto entre el XgTL y la división Loja (DL) y su extensión sur.

Siguiendo el Río Yacuchingari y un camino de herradura aproximadamente paralelo al drenaje, se puede ubicar la posición oriental del XgTL, lamentablemente el contacto exacto no se determinó debido a que las exposiciones se encuentran altamente meteorizadas, pero podría tratarse de un contacto intrusivo debido a las características que presenta la zona.

Hacia el sur en el Río Santa Cleotilde se realizó asi mismo un chequeo de campo, por un camino de herradura paralelo a este río, encontrándose mejores afloramientos de la DL como del XgTL, siendo en estos sectores el contacto intrusivo entre estos dos componentes.

Litológicamente en los afloramientos observados del XgTL, consiste de un granito biotítico, con textura granular, generalmente gneísica, pudiendo observarse megacristales de feldespato potásico gris-azulado los cuales dan la forma de "ojos", contiene además cuarzo azul, el mismo que podría estar asociado a microcizallamientos los cuales están especialmente desarrollados dentro de los granos de cuarzo.

En las zonas de contacto entre XgTL y la DL se presenta el XgTL sin deformación, salvo unos rodados de una pequeña quebrada afluente del Río Yacuchingari (CRFV 761).

Existen rodados de XgTL en el Río Ortega, los mismos que serán confirmados una vez que dispongamos de láminas delgadas, y en las minas de Ortega Alto se pudo ver cristales de cuarzo azul, como efecto de la meteorización de algún granito.

2.1.2 División Loja

En los alrededores de Tutupali, existe un dominio de rocas pelíticas las mismas que en todas las exposiciones observadas presentan un fuerte clivaje, estas rocas pertenecen a la división Loja, especificamente se ubican los mejores afloramientos en los ríos Yacuchingari, Santa Cleotilde, Ortega Alto y en las dos márgenes del Río Tutupali hasta la población de Yacuambí.

Estas rocas metamórficas de bajo grado consisten de una secuencia monótona de filitas, filitas grafíticas, filitas cuarzosas, cuarcitas impuras, cuarcitas, se ha incluído dentro de la DL a filitas verdes y metavolcánicos.

Esta división es un elemento importante dentro del contexto geológico regional de la Cordillera Real al sur del país.

La edad de estas rocas todavía no ha sido posible datar, es por esto que al momento estamos asumiendo como una edad Paleozoico Inferior, la misma que no está bien confirmada.

Cerca al XgTL y a lo largo del márgen occidental de la DL, las inclinaciones estructurales son moderadas con rumbos transcordillera, en la travesía Tutupali-Ortega Alto el clivaje de estas rocas es penetrativo S2 y claramente visible, la falta de excelentes exposiciones, la cobertura vegetal y la inaccesibilidad en ciertos sectores, hace que se vuelva dificultoso el tener una idea más clara acerca de una interpretación estructural confiable para la DL, posiblemente con un trabajo detallado se puede tener mejores resultados.

Provisionalmente se podría definir como un cinturón sobrecorrido al oeste e isoclinalmente plegado al este, siendo esta interpretación que está acorde a los resultados obtenidos en trabajos anteriores.

En el Río Cambana, al este de Yacuambí, existe muy cerca al contacto de este conjunto con el batolito de Zamora una secuencia de hornfels y rocas silisificadas con bastante mineralización diseminada de sulfuros (principalmente pirita), esto confirmaría aún más las ideas anteriores de que el batolito de Zamora está intruyendo a las rocas semipelitas de la DL.

En conclusión podríamos indicar que las rocas semipelíticas de la DL han sido intruídas por el XgTL y por el batolito de Zamora.

2.1.3 Batolito de Zamora

Existen rocas intrusivas del Batolito de Zamora al este de Yacuambí, desde el sector de La Ilusión hasta Peñas Blancas (lugar en que finalizó la travesía). Además se pudo observar bloques de rocas intrusivas en los ríos Guando Grande, Paquintza y Cambana. Este batolito no ha sido mapeado a detalle pero de acuerdo al examen de afloramientos y rodados de los ríos anteriormente mencionados, se puede concluír que su composición varía desde granodiorita con hornblenda y biotita de grano medio a monzonita, cuarzo diorita, diorita existiendo también rocas volcánicas andesitas y pórfidos con mineralización diseminada de sulfuros.

2.2 Bloques exóticos

Este conjunto de rocas conocidas como exóticas (Litherland, et al 1987) son importantes desde el punto de vista ecónomico y fueron localizadas como bloques rodados en los ríos Espadillas y Campana Urco.

2.2.1 Bloques del conjunto exótico

De acuerdo a estudios de investigación realizados con anterioridad en la travesía Salado-Tena (Litherland y Bermúdez, 1986) el complejo de rocas existentes en los ríos Espadillas y Campana Urco tienen un alto grado de similitud.

a) En el Río Espadillas, existen bloques rodados de metavolcánicos de coloración gris verdosa, afaníticos, de una composición basáltica, alterados a epidota, con abundantes contenido de sulfuros diseminados; existen además bloques de chert y de caliza.

b) En el Río Campana Urco existen rodados de metavolcánicos negros los que podrían tratarse de una serpentinita y gran cantidad de bloques grandes y pequeños de magnetita.

   Los metavolcánicos de color gris obscuro se encuentran alterados, a epidota y presentan mineralización de sulfuros de cobre, estos además contienen magnetita en pequeñas y delgadas vetillas, existen además rodados de magnetita y rocas de tipo skarn? los mismos que serán confirmados con análisis posteriores, además se pudo ver bloques pequeños de chert.

   Es interesante mencionar que en las muestras bateadas el mineral pesado contiene granate, magnetita y oro entre los más importantes.

   La procedencia de este conjunto de bloques debería ser al este de los ríos Espadillas y Campana Urco, lugar en el cual está ubicada la cordillera de Manga Urco, sector que todavía no ha sido explorado.

3 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DE LOS RIOS CHICAÑA, CHUCHUMBLEZA Y CANTZAMA.

3.1 Introducción

El reconocimiento geológico en los sectores de los ríos Chicaña, Chuchumbleza y Cantzama, se tuvo que efectuar con el objeto de revisar y tener una idea más clara de la geología de estos sectores localizados en la faja subandina de la Cordillera Real, los resultados de los trabajos realizados están indicados en la parte inferior del mapa geológico (ver mapa único).

3.1.1 Río Cantzama

El objetivo de la visita a éste río, fue el de observar la existencia o no de rocas de basamento, especialmente como rodados del río Cantzama y sus afluentes para así realizar una interpretación en el mapa geológico base, escala 1:250.000 del Proyecto.

Como puede observarse en la pequeña sección geológica, parte inferior izquierda del mapa; en la unión del Río Piuntza con el Cantzama, existen buenas exposiciones de granodiorita con biotita que pertenecen al batolito Zamora, este batolito es continuo hasta muy cerca de la unión del Río Salado.

Posteriormente se realizó un examen minucioso de rodados de cada uno de los ríos, teniendo como resultado que tanto en el Río Cantzama como en el Piuntza existen grandes bloques (hasta 10 metros de diámetro) de rocas del basamento de Sabanilla.

Además es importante la presencia de rocas volcánicas silicificadas con sulfuros (pirita, calcopirita) en los ríos Piuntza y Cantzama, como resultado del bateado en el Río Cantzama se pudo ver chispas de oro, esto nos haría pensar de la existencia de importantes cuerpos de rocas volcánicas porfiríticas mineralizadas.

3.1.2 Río Chicaña

El objetivo fue el de observar la presencia de rocas foliadas en la carretera que conduce al Río Chicaña. Desde el sector de San Vicente, hasta el Río Chicaña siguiendo el carretero se pudo ver la presencia de rocas intrusivas granodioritas en unos casos con hornblenda, en otros con biotita, pudiendo observarse variación en su composición hasta monzonitas, estas rocas deben pertenecer al Batolito de Zamora, así también se pudo ver vetas de rocas volcánicas (andesitas?) dentro de estas rocas intrusivas.

3.1.3 Río Chuchumbleza

El propósito fue el de realizar un reconocimiento geológico en este sector (ver parte inferior derecha del mapa), en el cual se pudo observar una predominancia de rocas volcánicas silicificadas, lavas y afloramientos de tonalita.

Dentro de las rocas volcánicas se pudo ver aglomerados silicificados, en los que se identificó minerales de cobre como malaquita, calcopirita, pirita.

Son importantes también los extensos depósitos aluviales ubicados en las dos márgenes del río, donde se encuentra asentada la empresa minera aurífera MINEROSA.

4 GEOLOGIA ECONOMICA

4.1 Minerales metálicos

4.1.1 Oro

Se observaron chispas de oro en muestras bateadas en varios ríos y pequeñas quebradas, afluentes que cortan tanto el Batolito de Zamora como el XgTL.

Se puede asumir que por la abundancia de sulfuros en rodados de rocas básicas y rocas tipo skarn podrían contener interesantes proporciones de mineralización aurífera.

Entre los principales drenajes que contienen oro aluvial tenemos el Ortega, Campana Urco, Cambana, Yacuchingari entre los más importantes.

Actualmente existen 17 mineros en los lavaderos auríferos de Ortega Alto, el mismo que se encuentra en una zona de deposición glacial.

4.1.2 Cobre/sulfuros

Indicios de sulfuros existen en rocas volcánicas en el Río Cambana cerca al contacto con las rocas intrusivas del Batolito de Zamora, pudiendo observarse mineralización de calcopirita/pirita.

Las rocas tipo skarn? del Río Campana Urco y los volcánicos básicos tienen importante contenido de sulfuros de pirita/calcopirita y bornita. Existen bloques de lava epidotizada que contien mineralización de calcopirita/pirita con un lustre plomo-azulado.

4.1.3 Magnetita/Hierro

Bloques de rocas volcánicas en el Río Campana Urco contienen magnetita en delgadas vetillas (CRFV 765C), así también ocurren rodados de magnetita masiva en el Río Espadillas y el mismo Campana Urco.

4.2 Ocurrencias de minerales no metálicos

4.2.1 Sílice

Importantes afloramientos de areniscas de la Formación Hollín contienen grandes cantidades de sílice, especialmente en la margen izquierda del Río Chuchumbleza.

5 REFERENCIAS

Litherland, M.,1988, Proyecto Cordillera Real, Segundo Informe Anual, INEMIN-Misión Británica, (no publicado).

Litherland, M., 1989, Proyecto Cordillera Real, Tercer Informer Anual, INEMIN-Misión Británica, (no publicado).

Viteri, F., Santamaría, W., Sierra, J., 1986, Hoja Geológica Gualaquiza (en proceso), INEMIN.

Ing. Francisco Viteri S.
PROYECTO CORDILLERA REAL

INEMIN

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

No. 00432

APENDICE 1f

Quito, enero 17 , 1990

PARA: GERENTE TECNICO
DE: DR JOHN ASPDEN
ASUNTO: INFORME TECNICO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS ENTRE ATILLO-MACAS (R. ABANICO) Y ALAO-HUAMBOYA-PALORA DEL 06 DE NOVIEMBRE AL 02 DE DICIEMBRE DE 1989.

1. INTRODUCCION

1.2 Antecedentes

El Proyecto de investigación geológica de la Cordillera Real que se lleva a efecto mediante convenio de cooperación técnica entre los gobiernos de Ecuador y Gran Bretaña, contempla la recopilación de datos de campo que permitan conocer la geología de la Cordillera, así también su relación con ambientes que controlan un posible potencial minero, para futuros trabajos locales (a detalle) concernientes al Instituto Ecuatoriano de Minería.

1.2 Objetivos

La comisión motivo del presente informe técnico, fue efectuada del 06 de noviembre al 02 de diciembre de 1989; su objetivo fue el de realizar el estudio geológico del cruce Atillo-Macas (R. Abanico) y Alao-Huamboya-Palora.

1.3 Personal asignado

Para efectuar este trabajo la comisión estuvo integrada por el Dr John Aspden, Sr Manuel Célleri (quien por motivos de salud no pudo continuar), Sr Laureano Saltos (quien remplazó al Sr Célleri) y Sr Vicente Navarro (chofer).

1.4 Medio de transporte

Jeep Land Rover placa AT-0272 de la Misión Británica.

AV. 10 DE AGOSTO 5540 Y VILLALENGUA TELFS. 240-209 - 246-559 - TELEX 21182 - CASILLA 23-A - QUITO - ECUADOR

1.5 Detalle de actividades

Noviembre

06	Quito - Riobamba.
07 - 13	Atillo - Macas (cruce de la cordillera).
14	Macas - Riobamba.
15	Riobamba.
16 - 30	Alao - Palora (cruce de la cordillera).

Diciembre

01	Palora - Baños - Alao.
02	Quito.

1.6 Acceso

1.6.1 Atillo - Macas

Existe carretera al oeste de Atillo vía Guamote y en clima seco a Laguna Negra. En el este, el vehículo puede ingresar en la cordillera hasta el Río El Retiro. Entre estos dos puntos una pica bien marcada sigue el curso del Río Upano. Durante nuestra visita, todos los trabajos de la proyectada carretera Macas - Atillo - Guamote, estaban suspendidos.

1.6.2 Alao - Huamboya - Palora.

Desde Alao cruza una ruta ahora abandonada e intransitable, la división se extiende a Magdalena. De este punto hasta El Placer existe una trocha. Sin embargo desde este punto la trocha esta casi desaparecida y el acceso en muchas partes es posible solo a machete. En el este, en el área del Río Coco trochas pequeñas son usadas por mineros que lavan oro aluvial y llegan al asiento 'colono' reciente de El Carmelo, el cual está a c. 14km al SO de Palora. Entre Palora y El Carmelo existe un camino carrosable.

1.7 Trabajo previo

1.7.1 Atillo - Macas

La mayor parte de esta travesía está cubierta por el Mapa Geológico de Macas a escala 1:100.000 recientemente publicado (Marín et al, 1988). Se notará sin embargo, que hay considerables diferencias entre ésta y el presente. Este trabajo también cubre el informe de las primeras travesías de Litherland y Bermúdez (1986).

1.7.2 Alao-Huamboya-Palora

No se dispone de publicaciones sobre esta travesía , sin embargo un corte breve a El Placer fue realizado por Litherland y Bermúdez en 1986.

2. GEOLOGIA DE LA TRAVESIA ATILLO - MACAS

2.1 División Alao-Paute

Rocas verdes y esquistos verdes pertenecientes a la división Alao-Paute ocurren en la parte oeste en la travesía Atillo-Macas. Al este del Río Galgalán hay pocos afloramientos de estas rocas a lo largo del camino, pero están presentes numerosos bloques rodados.

Entre la Laguna Negra y el Río Galgalán la división Alao-Paute está bien expuesta y consiste de una alternancia de rocas verdes masivas y esquistos verdes fuertemente foliados. Los esquistos verdes son claramente de origen tectónico y representan milonitas producidas a lo largo de las zonas cizalladas. Las inclinaciones estructurales son generalmente moderadas y las lineaciones minerales tienen inclinaciones suaves con rumbo norte a NNE. Las observaciones hechas en una sola localidad indicaron un cizallamiento en sentido dextral.

Aunque la división Alao-Paute está dominada por rocas metavolcánicas, cantidades menores de filitas negras ± grafito fueron observadas como rodados en algunos de los ríos que drenan este sector. También en el Río Villacruz y en un río sin nombre localizado a un par de kilómetros al este, están presentes rodados de anfibolitas máficas, muy similares a las anfibolitas del Complejo Tampanchi (ver los informes anteriores del Proyecto).

2.2 División Loja

En el sector de Atillo-Macas la división Loja consiste predominantemente de rocas semi-pelíticas sin embargo su grado metamórfico es variable. En el oeste (ie al oeste de San Vicente), los paragneisses y esquistos son comunes y el granate y cloritoide están ampliamente desarrollados. En el este, sin embargo, el grado de metamorfismo de la secuencia es generalmente más bajo y consiste típicamente de esquistos y filitas de color obscuro algunas de las cuales son grafíticas. En el área de San Francisco la división Loja incluye cantidades subordinadas de rocas esquistosas verdes de un posible origen volcánico.

El margen occidental de la división Loja esta pobremente definido debido a la falta de afloramiento; sin embargo, en el este desaparece abruptamente a través de una "zona tectónica" que está marcada en el campo por la presencia de una serie de rocas miloníticas de rumbos aproximadamente N-S y con buzamientos bien inclinados a verticales.

Es probable que el límite occidental de la división Loja coincida con una falla inversa la cual tiene un buzamiento moderado al oeste. Rocas volcánicas esquistosas que afloran en un pequeño chorrito sin nombre dentro del Río El Retiro y Río Cugusha tienen una fuerte lineación mineral E-O y se cree que marcan el comienzo de la secuencia volcánica/volcanoclástica que estructuralmente sirve de base a las rocas de la división Loja.

En cualquier lugar de la cordillera y especialmente al sur los granitos pertenecientes al conjunto Tres Lagunas (XgTL) están comunmente asociadas con la división Loja a la cual ellos intruyen. En la travesía Atillo-Macas los afloramientos de XgTL no están presentes sin embargo en el Río Playas y posiblemente en el Río Cugusha los bloques rodados foliados de granito biotita que tentativamente están asignados al complejo Tres Lagunas fueron observados.

Estructuralmente la división Loja es indudablemente compleja. Los buzamientos y los rumbos son variables; en el oeste los rumbos al NO-SE parecen ser dominantes pero en el este, los rumbos NE-SO son más comunes. Inmediatamente al oeste del Río El Retiro están presentes milonitas con buzamiento al oeste y que tienen una fuerte lineación mineral E-O. Estas rocas marcan una falla de corrimiento, la que es con toda probabilidad una de las muchas que ocurren dentro de esta secuencia.

2.3 Faja volcánica/volcanoclástica

La faja de rocas consiste principalmente de rocas volcánicos foliados y rocas volcano-sedimentarias y puede también incluir grauvacas y pequeñas cantidades de filitas y cuarcitas impuras.

Aunque esta secuencia no está particularmente bien expuesta, las rocas miloníticas, que marcan en la superficie zonas cizalladas son comunes. Los buzamientos son generalmente al oeste y norte, con rumbo al norte y nor-oeste. Tectonicamente esta faja está interpretada estructuralmente como yaciendo bajo de la división Loja, pero debido a la presencia de inclinación oeste de un ángulo alto de falla inversa, ello yace sobre la formación Napo en la zona subandina.

En el extremo oeste de la faja afloramientos de intrusivos alterados foliados (inmediatamente al oeste del Río Cugusha) están presentes.

2.4 Formación Napo

Afloramientos de filitas negras que están presentes en el extremo oriental cerca al Río Colimbo son consideradas como pertenecientes a la Formación Napo. Esta asunción no está probada, pero estas rocas tienen una historia estructural menos compleja que aquellas descritas previamente y aún son consideradas más jóvenes, ie. Cretácicas en edad.

A lo largo de la ruta que conduce a Macas, pero al oeste del Río Abanico la Formación Napo es extensivamente metamorfoseada debido a la presencia de intrusivos jóvenes.

2.5 Rocas jóvenes

2.5.1 Rocas sedimentarias (Ts)

Inmediatamente al norte de la Laguna Atillo aflora una secuencia de arenisca de canal y limolita inmadura rica en materia orgánica. Estas rocas no han sido descritas previamente pero se asume que son Terciarias en edad. Regionalmente ellas parecen sobrepuestas a la división Alao-Paute al este y están así mismas sobrepuestas informalmente por volcánicos jóvenes al oeste.

Estas rocas no están metamorfizadas y una sola muestra fue recogida, la que contiene bien preservados restos de pescado. Esta muestra junto con otra capa rica en materia orgánica ha sido enviada a UK para su determinación paleontológica. a que formaciones corresponden esto

2.5.2 Volcánicos terciarios

En el oeste cerca de Atillo volcánicos jóvenes (?Plio Pliestoceno) cubren la mayoría del área. Se asume que pertenecen a la Formación Tarqui.

Cerca a Purshi y San Vicente están presentes lavas jóvenes y de composición dominantemente andecítica y dacítica y posiblemente relacionadas con el Sangay.

Afloramientos principalmente de intrusivos jóvenes félsicos -diques- fueron observados a lo largo de la travesía, los cuales son comunes cerca de las márgenes del plutón del Río Salado.

2.5.3 Intrusivos terciarios

El rango de la composición del plutón del Río Salado varía desde diorita hasta granodiorita y probablemente incluye cantidades menores de leucogranito cerca de su margen occidental. El intrusivo, que contiene hornblenda y biotita, no ha sido datado pero se asume que es de edad Terciaria. Esta asunción está basada en el hecho de que el plutón no está deformado y contiene xenolitos del basamento metamórfico. También intruye y afecta por metamorfismo de contacto en el extremo este los sedimentos que se cree pertenecen a la formación Napo.

2.6 Geología Económica

2.6.1 Ocurrencias y potencial económico de minerales metálicos

2.6.1a Oro

Cantidades menores de oro han sido bateadas en el Río Playas, Río Salado Chico y el Río Alshi, pero estos recursos probablemente tienen poco potencial económico.

De acuerdo a los habitantes de la pequeña población de San Vicente pequeñas cantidades de oro han sido tomadas del sector del Río Upano. Oro también está reportado y trabajado en el Río Abanico pero el tamaño de estas operaciones no es conocido.

2.6.1b Sulfuros

Pirita y posiblemente cantidades menores de calcopirita son relativamente comunes. Los mejores indicios están asociados con pequeños intrusivos de alto nivel y diques de composición generalmente félsica especialmente en la zona subandina y a lo largo de la margen occidental del Pluton Salado.

La pirita es relativamente común en la división Alao-Paute, pero no es de interés económico.

Al este de Atillo, zonas de alteración pirítica y menores cantidades de sulfuros fueron observadas dentro de la Formación Tarqui (también ver 2.6.2a).

2.6.2 Ocurrencias y potencial económico de minerales no-metalícos

2.6.2a Azufre

Al este de Atillo y asociado con zonas de alteración pirítica, menores cantidades de azufre nativo fueron observados dentro de la Formación Tarqui.

La ocurrencia de azufre y zonas piríticas dentro de la Formación Tarqui es de interés porque estas ocurrencias están localizadas dentro de la faja regional de sulfuros polimetálicos del Altar-San Bartolomé-Peggy.

3 GEOLOGIA DE LA TRAVESIA ALAO-HUAMBOYA-PALORA

3.1 Introducción

Afloramientos buenos de rocas más o menos frescas existen al oeste de la travesía entre la Quebrada Lilla y El Placer. Sin embargo, al este de El Placer los afloramientos son muy escasos y la geología (ver Mapa 2) de esta parte está casi totalmente representada por bloques rodados.

3.2 Division Alao-Paute

La división Alao-Paute está expuesta en el extremo oeste y consiste principalmente de esquistos verdes y rocas verdes masivas. También incluye cantidades menores de metadoleritas afloramientos que fueron observados al este del puente que cruza el Río Alao a lo largo del camino que conduce a la Laguna Negra.

Como es común en otras partes de la cordillera, el desarrollo de la esquistosidad dentro de los metavolcánicos Alao-Paute está principalmente relacionado con cizalla. La lineación mineral relacionada a estos cizallamientos es generalmente paralela al rumbo (ie c. N-S) y tiene una inclinación moderada, con frecuencia al norte. Los buzamientos estructurales son generalmente verticales a muy inclinados.

3.3 División Loja

Al este de la división Alao-Paute, fue vista en el campo una faja angosta de aproximadamente 2 km de ancho, compuesta de rocas de esquistos cuarzosos las que contienen biotita $\pm$ clorita $\pm$ feldespato. Por el momento estas rocas están asignadas a la división Loja, pero

para la confirmación final debemos esperar los resultados de los análisis de láminas delgadas.

Esta faja tiene un rumbo N-S, con inclinación moderada a muy inclinada al occidente y está caracterizada por la presencia de numerosas zonas cizalladas.

3.4 Conjunto Tres Lagunas

Rocas plutónicas foliadas del conjunto Tres Lagunas están expuestas principalmente al oeste de la Loma Magdalena y en otros lugares, su presencia está inferida largamente hallándose presentes numerosos bloques rodados.

Basicamente estas rocas consisten de granitos y granodioritas de grano medio a grueso foliados que contienen biotita $\pm$ muscovita. Son comunes las variedades porfiríticas y normalmente los megacristales consisten de ortoclasa de color azul-gris. Frecuentemente el cuarzo es de color azul pálido.

El rumbo de la faja es consistente, más o menos a N-S, con buzamientos verticales a muy inclinados al occidente. Las rocas que son dominantemente, ortogneiss, son consideradas como milonitas de tipo S-C (Berthé et al, 1979) y resultan de la deformación no coaxial de zonas mayores de cizallamiento dentro de la corteza. Sin embargo, se requiere de estudios más detallados para confirmar el sentido del movimiento a lo largo de estas zonas de cizallamiento.

3.5 Complejo de Azafrán

Los límites de esta faja están pobremente definidos debido a la casi completa falta de afloramientos. Sin embargo, como se indica en el mapa de travesía, el Complejo de Azafrán es extenso y como es mapeado al momento contiene una variedad de tipos de rocas, está dominado por rocas plutónicas foliadas de grano fino a medio y de composición granodiorita a diorítica. La hornblenda y biotita está ampliamente distribuída. Son relativamente comunes granodiorita $\pm$ biotita idénticas en muestra de mano a las del metaplutón Chingual que ahora es considerado como la extensión norte del Complejo de Azafrán, cerca de la frontera con Colombia (Litherland, pers. com.).

En el oeste, rodados de paragneiss con granate son comunes y estos han sido incluidos dentro del Complejo de Azafrán. Sin embargo, se notará que aunque han sido observados xenolítos de paragneiss en bloques rodados del Plutón de Azafrán, es también posible que estas rocas puedan ser los equivalentes de grado alto de la división Loja y por lo tanto pueden ser iguales a rocas similares que fueron observadas en la travesía Atillo-Macas (R. Abanico). Es de interés notar que granates euhedrales de hasta 1-2 cm fueron colectados de un bloque en el Río Collones. En el Río Cristal están presentes también turmalina contenida en aplitas y pegmatitas.

Hay poca información estructural disponible sobre el Complejo de Azafrán, sin embargo, basados en los pocos afloramientos presentes, la foliación es de rumbo andino con inclinaciones variables pero generalmente al oeste.

3.6 Faja metasedimentaria de bajo grado

En el extremo este de la travesía, en Loma Tiririco, una serie de rocas sedimentarias de bajo grado están expuestas. Estas consisten de areniscas tobáceas pobremente clasificadas y limolitas, probablemente también incluyen filitas de color oscuro.

Un solo afloramiento de grauwacke inmaduro de grano medio, pirítico y rico en material volcánico también fue visto en el Río Palora, aguas arriba del Río Bernardo.

Estas rocas han sido agrupadas juntas en un solo conjunto pero al momento el estado de las mismas es incierto.

3.7 Volcánicos jóvenes

En muchos ríos fueron observados bloques rodados de volcánicos jóvenes de composición andesítica, dacítica y félsica. Se asume que estas rocas son probablemente de edad Plio-Pleistoceno y que son especialmente comunes en el este, ie aguas abajo de la unión del Río Encantado, fueron obtenidos de una serie de intrusivos pequeños (stocks y -domos-) los que forman la morfología prominente de esta área.

3.8 Depósitos coluviales y aluviales

En el este están presentes grandes depósitos aluviales y terrazas, el límite principal está basado en la interpretación de fotografías aéreas, y se indica en el mapa de travesía adjunto.

Además al este de El Placer, están presentes depósitos "estrechos" de coluviales y aluviales, en el Valle del Río Palora, no se indican los límites.

3.9 Geología Económica

3.9.1 Oro

Oro aluvial es común en el Río Palora, especialmente aguas abajo del Río Coco, y también en el Río Sangay.

Según los colonos, el oro también está presente en el Río Coco. Fueron bateadas cantidades menores en el Río Collanes y fueron obtenidas muestras razonables (3-4 chispas/batea) del Río Bernardo.

3.9.2 Sulfuros polimetálicos

Fueron observadas vetas de cuarzo (c 1/2-1 m de ancho) cerca de la Laguna Negra y también en el oeste de la Loma Magdalena llevando sulfuros polimetálicos. Fueron identificados en el campo: galena, esfalerita pirita?, y calcopirita. Ha sido enviada una muestra de la veta Magdalena para análisis químico.

3.9.3 Mineralización de sulfuros

Aproximadamente a 1/2 km al este del Río Lilla, una zona de falla mineralizada en la división Alao-Paute cruza el camino que conduce a la Laguna Negra. Un túnel viejo sigue por esta zóna al norte de la carretera por c. de 5 m. La zona contiene sulfuros diseminados, principalmente pirita pero no fue observado mineral masivo.

Esta misma zona continúa al sur del Río Alao, donde se puede ver sulfuros oxidados y de acuerdo a nuestros guías también afloran a la superficie en el norte.

3.9.4 Granate y turmalina

Granates son comunes en los ríos Cristal y Collanes, especialmente en el Río Collanes son de gran dimensión (1-2 cm) euhedrales y de color rojo obscuro.

Las turmalinas también están presentes en el Río Cristal. Estos minerales son de interés mineralógico y no económico.

3.10 Potencial mineral

3.10.1 Oro

El oro es trabajado en la parte baja de los ríos Sangay y Palora. Como se indica en el mapa de travesía, están presentes terrazas en esta área y estas podrían tener potencial para la extracción de oro aluvial.

Igualmente la zona río arriba, e incluyendo, el Río Coco puede ser considerado como un buen potencial para minería de oro en roca.

La fuente de oro es desconocida, sin embargo, el aumento abrupto de oro aluvial en el Río Palora en el alrededor del Río Coco, podría sugerir una fuente probable dentro del área general. Basado en observaciones del campo, el aumento de oro corresponde a un aumento en los rodados de volcánicos y subvolcánicos félsicos y dacíticos que están inferidos para formar una serie de rangos morfológicos prominentes en esta área.

Debería recordarse que los ríos Coco, Sangay y Palora están dentro del Parque Nacional Sangay.

3.10.2 Sulfuros polimetálicos

Las ocurrencias de sulfuros polimetálicos cerca de la Laguna Negra y la mineralización asociada con la zona de cizalla de la división Alao-Paute son de interés regional, aunque por si mismas probablemente tengan poco interés económico.

Se considera que esta mineralización representa parte de la faja polimetálica regional del Altar-San Bartolomé-Peggy, referida en el Informe Anual del Proyecto anterior. Probablemente será llevado a cabo un estudio geoquímico regional sobre toda la faja, para conocer el potencial económico de esta área.

4. REFERENCIAS

D. Berthé et. al. 1979 Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granites: the example of the South American Shear Zone. Journal of Structural Geology. Vol. 1, No. 1, pp. 31 to 42.

Dr John Aspden
PROYECTO CORDILLERA REAL

INEMIN

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

No. 01271

APENDICE 1g

Quito, marzo 08, 1990

PARA: GERENTE TECNICO
DE: ING RAMIRO BERMUDEZ y DR JOHN ASPDEN
ASUNTO: INFORME TECNICO DE LA COMISION EFECTUADA A LAS PROVINCIAS DE AZUAY, MORONA SANTIAGO Y CHIMBORAZO DEL 23 DE ENERO AL 04 DE FEBRERO DEL PRESENTE AÑO.

SUMARIO:

El Proyecto Asistencia Técnica del Reino Unido-INEMIN, que estudia la Cordillera Real efectuó la presente comisión de servicios a fin de visitar varios puntos en la zona sur y sur oriental del país y correlacionarlas dentro del marco geológico-estructural preéstablecido por el Proyecto.

Cabe enfatizar que en los sectores que presentan zonas de fallamiento se trató de: determinar el sentido del movimiento de las mismas 'in situ' o tomar muestras orientadas para su estudio a través del microscopio (Mina Peggy, Sta Teresita-La Punta, Baños, etc).

Se confirmó la presencia de rocas tipo Tampanchi (bloques) cerca de la parroquia Azul, las cuales fueron reportadas por la Misión Belga (com. verbal).

Se recolectó alrededor de 20 muestras de roca, 5 de sedimentos fluviales y 3 de sedimentos pesados; para su respectivo estudio. No se obtuvo en el bateado la presencia de oro (?), ni de minerales pesados económicos relevantes (?).

Originalmente, de acuerdo al itinerario presentado en la solicitud respectiva (no. 1658), no se cumplió en su totalidad debido a factores ajenos a los integrantes de la comisión como: el mal tiempo en las zonas, ríos crecidos en su caudal, falta de colaboración de las personas (Parque Nacional Sangay - Río Illushin, Osogochi, etc).

AV. 10 DE AGOSTO 5540 Y VILLALENGUA TELFS. 240-209 - 246-559 - TELEX 21182 - CASILLA 23-A - QUITO - ECUADOR

I. INTRODUCTION

1.1 OBJETIVO

Estudio geológico estructural y toma de muestras de roca, sedimentos fluviales y pesados. Especial énfasis en estudios preliminares de indicadores cinemáticos.

1.2 PERSONAL ASIGNADO

La comisión estuvo conformada por:

Ing Ramiro Bermúdez (INEMIN)
Dr John Aspden (ODA/BGS)
Sr Victor Vega (chofer/INEMIN)

Se utilizó como transporte el Jeep Land Rover AT-0272 perteneciente a la Misión.

1.3 ASPECTOS GEOGRAFICOS

Las áreas investigadas se localizan al sur, sur este y este sur este de Quito; respectivamente pertenecen a Cuenca (Azuay), Sucúa (Macas) y Palora (Morona Santiago).

1.4 CLIMA Y VEGETACION

Basicamente, las áreas visitadas están en relación directa con las cotas, así: de 2700 msnm y 3500 msnm (Sigsig-Principal-Azul, etc), con clima temperado andino a frío andino con temperaturas que fluctúan entre los 8 y 12 grados centígrados aproximadamente; y de 880 m a 2500 msnm (Macas, Baños, etc) con clima tropical a templado subtropical. La vegetación está en íntima relación con el clima; en las zonas altas la vegetación es típica de páramo; pajonales, chaparro, con cultivos de papas, cebada, etc, y en las zonas bajas tenemos grandes cultivos de cítricos, caña, etc, localizándose en esta área las plantaciones de té (Palora).

1.5 HIDROGRAFIA

Los principales ejes hidrográficos en las áreas visitadas son: Río Santa Bárbara, Río Pastaza, Río Illushin, Río Tutanangoza, Río El Ojal, etc.

1.6 TRABAJOS ANTERIORES

Hojas Geológicas 1:100.000; Alausí (71) 1975, Riobamba (70) 1978 y Baños (88) 1980; hojas en las cuales se realizó el mapeo de las rocas metamórficas de la Cordillera.

Además fundamentalmente se utilizó la información obtenida por el Proyecto en los 3 primeros años de investigación (Primer 1987, Segundo 1988, Tercer 1989, Informes Anuales Proyecto Cordillera Real).

1.7 METODOLOGIA DEL TRABAJO

Se utilizó Hojas Censales 1:50.000 pertenecientes a Huambi

Sucúa, Macas, Palora; y topográficas de Sigsig, Guachapala etc editadas por el IGM y fotografías areas 1:60.000 que cubren el área.

La metodología de trabajo fue:

- Observaciones geológicas y estructurales "insitu".
- Determinación de la dirección de movimiento de zonas de falla.
- Recolección de muestras de roca y sedimentos pesados y fluviales.

1.8 GEOMORFOLOGIA

La geomorfología de las áreas visitadas se caracterizan por presentar zonas con pendientes pronunciadas y zonas con pendientes suaves.

1.9 POBLACION

Los habitantes del área, incluidas las comunidades están dedicadas a labores agricolas ganaderas y de pastoreo. La mayor concentración de la población se localiza en: Sigsig, Azul, Sucua, Palora, etc.

1.10 USOS DEL SUELO

En el área un alto porcentaje del suelo está dedicado a labores agrícolas y ganaderas.

En ciertas áreas se utilizan los materiales existentes para el afirmado y mantenimiento de las vías.

2 GEOLOGIA

El primer día de la comisión, se efectuó varios chequeos en el campo en la zona al este de Cuenca:

2.1 CARRETERA CUENCA-SANTA ANA-SAN BARTOLOME:

Posibles afloramientos de basamentos (Gualaceo y Sigsig, Hojas Topográficas 1:50.000).

El Proyecto ha recibido reportes no confirmados de pequeños afloramientos de rocas (metamórficas) mineralizadas y han sido ubicadas por la carretera Cuenca-Sta Ana (Hoja de Gualaceo, coordenadas: 7297-96752), no encontramos afloramientos de rocas metamórficas por esta carretera, ni tampoco vimos bloques rodados de rocas metamórficas en el Río Quingeo (coordenadas: 7297-96752, Hoja Gualaceo).

2.2 ROCAS 'TIPOS TAMPANCHI':

Cerca de El Azul (Guachapala, 1:50.000 Hoja Topográfica).

Cerca de la parroquia El Azul (Coordenadas 752-9698) Esas rocas son muy similares en muestras de mano a las que ocurren en el complejo de Tampanchi, ubicados unos pocos kilometros al norte (ver 2do Informe Anual del Proyecto, 1987-1988, p. 13) pero frecuentemente están cortados y a veces brechados por la presencia de feldespatos rosados que tienen cristales con intercrecimiento. Inmediatamente antes de la Quebrada El Azul y expuesto por la carretera Se encuentran afloramientos de una tonalita expuesta por diorita-biotítica-foliada, la relación de esta roca y las hornblenditas es desconocido?

Las rocas de El Azul fueron descubiertas por la Misión Belga, y según el Ing Quevedo (com. verbal), rocas similares están presentes como bloques al este del pueblo de Shumir (Azogues, 1:50.000 Hoja Topográfica, 7479-96898).

2.3 INDICADORES CINEMATICOS

Para los estudios preliminares de los indicadores cinemáticos por el frente Baños (al sur de Sigsig), empleamos medio día buscando evidencias megascópicas, por la vía a la mina Peggy. El alto nivel de agua por el Río Santa Bárbara impidió el estudio de los afloramientos 'limpios' del Batolito deformado Tres Lagunas, expuestos los afloramientos abajo de la mina Peggy, por la orilla del Río Santa Bárbara, aunque observaciones de lineaciones de mineral en varios puntos por el camino sugirieron que los movimientos principales por este sector del frente Baños fueron del tipo 'dip-slip', esto no tenía mayor componente transcurrente. En un solo afloramiento de roca milonítica de la división Alao-Paute 'ojos' de cuarzo rotados muy bien preservados con 'colas' fueron observados esas estructuras indicaron un sentido de movimiento dextral con la división Alao-Paute sobrecorrida del noroeste al sur este.

Hay que enfatizar que este trabajo es preliminar y hay que efectuar estudios más detallados por este sector y también para otros en la Cordillera Real para entender bien la historia estructural compleja del frente Baños.

2.4 RIO TUTUNANGOZA - RIO OJAL

Antecedentes: este sector se halla dentro de la hoja geológica Sucúa (en proceso) 1:100.000, Versat y Lascano.

2.5 ROCAS METAMORFICAS

Conjunto metavolcánico - volcano sedimentario.

Este conjunto consiste principalmente de rocas metavolcánicas y metavolcano-sedimentarios, también incluye cantidades menores de rocas metasedimentarias, además de filitas obscuras con más o menos grafito y rocas semipelíticas. Por el momento no tenemos láminas delgadas de estas rocas, pero parece que éstas pertenecen a la facie de esquistos verdes.

Hacia el este la secuencia está expuesta aproximadamente 3 kms al este desde el Río Nayembayme, pero está distante de la Cordillera Real por un paquete angosto fallado de las formaciones Hollín y Napo. Al este del Río Cunguentza Chico los afloramientos son muy pocos, aunque existen numerosos bloques de rocas metavolcánico/volcano sedimentarios

y metasedimentos que están presentes en los depósitos de terraza los cuales ocurren en esta zona, el grado de metamorfismo y el aspecto general de estas rocas es similar a los que ocurren al este, por esta razón hemos incluido los mismos en esta secuencia.

Como se puede ver en el Mapa 1, las medidas de estas rocas tienen algo de variación, pero en general la foliación tiene el rumbo de la Cordillera y los buzamientos son generalmente al oeste, pero varían de moderados a muy inclinados.

Hacia el este, rocas miloníticas son comunes y ellas tienen lineaciones de minerales con el rumbo de la cordillera e inclinaciones moderadas a suaves.

2.6 FORMACIONES HOLLIN/NAPO/TENA

No tenemos dataciones de estas formaciones, pero son identificadas litologicamente.

Aproximadamente a medio kilometro al este del Río Cunguentza Chico y por 2 km del Río Mayembayme, cuarcitas pálidas y que pertenecen a la Fm. Hollín fueron observados, y están tectonicamente interestratificados con lutitas negras de la Fm. Napo. En este último ejemplo se puede ver como cinco repeticiones de cuarcitas o areniscas de la Fm Hollín, c/u de 2-3 m de ancho y separadas por un espesor similar de lutitas negras de la Fm. Napo, esta observación sugiere un nivel superficial de sobrecorrimiento ('thin skining'), probablemente esta presente no solamente en la base de la Fm. Hollín, sino también dentro de la formación misma.

Adicionalmente a las formaciones Hollín y Napo, unas areniscas de color rojo y alteradas y lutitas rojas están presentes y son comunes en el extremo oriental de la 'travesia'. Esas rocas no fueron estudiadas a detalle pero pensamos que pertenecen a la Formación Tena.

3 GEOLOGIA ECONOMICA

3.1 OCURRENCIAS DE MINERALES METALICOS

Los resultados de los análisis de las muestras de fluviales y sedimentos pesados no constan, debido a que se enviaron para su preparación posteriormente se contará con aquellos resultados.

3.1.1 Oro

No se observó en el bateado la presencia de oro, ni rasgos de alteración en las rocas ni en los bloques rodados.

Según la gente de la zona, oro aluvial es trabajado esporádicamente en el Río Tutanangoza (Sta. Teresita).

3.1.2 Pirita

Se obseva pirita cristalizada (cúbica) de un medio centímetro en los sedimentos de la Formación Napo.

3.2 Potencial mineral

Se considera que las zonas visitadas no tienen mayor potencial mineral económico.

3.2.1 Río Illushin

Se verificó la presencia de oro en el Río Illushin y que en época de verano normalmente trabajan más de veinte personas a lo largo del Río (± 2 km aguas arriba de la confluencia con el Río Pastaza, com. verbal personas del lugar).

Debido al mal tiempo y a que el río estaba crecido, no se pudo avanzar hasta el Río Iyuime, aguas arriba.

3.2.2 Carretero Puyo-Baños

Se empleó casi medio día tratando de ubicar los indicadores cinemáticos en la carretera Baños, en el complejo plutónico deformado de Azafrán. Muchas fallas verticales y subverticales (zonas de fallamiento) cortan al complejo de Azafrán, lo cual se puede considerar compuesto de milonita S-C de tipo 1 (Lister y Snoke 1982), lineaciones de minerales observados en la superficie de foliación, generalmente tienen buzamientos al sur y varían desde moderados a subhorizontales, esta observación sugiere que estas rocas formaban esencialmente un régimen oblicuo de fallas transcurrentes los cuales tienen un componente importante de 'dip-slip'.

No se observó evidencias claras megascópicas en el campo por el sentido del movimiento de estas fallas dextral o sinestral, pero se recolectó muestras orientadas para su estudio microscópico.

Referencias

Lister G. S. and Snoke A. W., 1984. Journal of Structural Geology, Vol. 6, No. 6 pp. 1617.

Ing Rafael Bermúdez

Dr John A. Aspden

APPENDIX 2a - 2c

GEOCHRONOLOGY PROGRAMME

APENDICE 2a - 2c

PROGRAMA DE GEOCRONOLOGIA

Appendix 2a

APENDICE 2a

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

TECHNICAL REPORT WC/89/10/R

Overseas Directorate Visit Report Series

TECHNICAL REPORT WC/89/10/R

Report on a Visit to Ecuador Geochronology Sampling, Phase II

11 January - 30 March 1989

Stephen M. Harrison

This report was prepared
for the Overseas Development Administration

Bibliographic Reference

Harrison, S.M. 1989. Report on a visit to Ecuador. Geochronology Sampling, Phase II. *British Geological Survey Technical Report* WC/89/10/R

Keyworth, Nottingham. British Geological Survey 1989

CONTENTS

	Page
DIARY OF EVENTS	1
INTRODUCTION	3
GEOLOGICAL SETTING	4
FIELDWORK	4
ROCK PREPARATION	5
SUMMARY	6
ACKNOWLEDGEMENTS	6
REFERENCES	6

LIST OF FIGURES AND TABLES

Figure 1. Sketch map of Ecuador showing principle towns and roads.

Figure 2. Provisional lithological/tectonic divisions of the Cordillera Real, Ecuador and their possible south-west extension into the El Oro province based on Litherland (1988).

Table 1(a). List of samples collected for radiometric dating.
Table 1(b). Summary of samples collected for geochronology programme listing the intended radiometric dating techniques to be used for each suite of rocks.

DIARY OF EVENTS

11 Jan	Flew from Heathrow to Miami. Stayed the night in Miami.
12 Jan	Flew from Miami to Quito, Ecuador.
13 Jan	Visited INEMIN offices, meeting project staff and discussing details of field and laboratory work.
14-15 Jan	Weekend.
16 Jan	Planned and prepared for fieldwork at INEMIN offices.
17 Jan	Drove from Quito to Tena, sampling garnetiferous gneisses at Papallacta and Misahualli volcanic rocks near Archidonna. Stayed the night in Tena.
18 Jan	Drove from Tena to Baños stopping to collect a large sample of the Azafran granite for U-Pb zircon dating. From Baños intended to drive all the way to Cuenca but found the road was blocked at Cañar and were forced to stay the night in Alausi.
19 Jan	Drove from Alausi down to Machala to work in the El Oro Province. Stayed the night in Machala.
20 Jan	Drove from Machala to Las Balsas and Marcabeli in the central part of El Oro. Sampled the Marcabeli pluton. Drove back to Santa Rosa for the night.
21 Jan	Drove from Santa Rosa to Arenillas and sampled the amphibolite. Continued to La Bocana and sampled garnetiferous migmatitic gneisses of the Tahuin Group. Returned to Santa Rosa for the night.
22 Jan	Drove from Santa Rosa up to Loja. Stopped at Portavello to collect amphibolite. Stayed the night in Loja.
23 Jan	From Loja drove to Valladolid. Collected a suite of meta-plutonic rocks and a suite of garnetiferous migmatitic gneisses from the Sabanilla metamorphic complex. Returned to Loja for the night.

24 Jan	Drove from Loja to Malacatas and collected a suite of rocks from one of the Tres Lagunas plutons exposed a few kilometres north of Malacatas. Returned to Loja.
25 Jan	Drove from Loja to Zamora. Collected samples of migmatitic orthogneiss from the Sabanilla complex. Continued on to Yantzasa and up the Rio Chicaña valley to sample hornblende diorites thought to be part of the Zamora Batholith. Returned to Yantzasa for the night.
26 Jan	Drove from Yantzasa to Saraguro via Zamora and Loja. Looked at more rocks of the Sabanilla complex but no rocks were collected. Stayed the night in Saraguro.
27 Jan	Hired two mules and two guides and trekked east from the main road north of Saraguro and reached a camp-site just west of Tres Lagunas.
28 Jan	Sampled the Tres Lagunas blue-quartz granite at its type locality. Stayed at the same camp-site for the night.
29 Jan	Packed up camp and trekked back to the main road. Returned to Saraguro for the night.
30 Jan	Drove from Saraguro to Cuenca. Spent the night in Cuenca. No samples collected.
31 Jan	From Cuenca drove to Peggy Mine and collected more samples of the Tres Lagunas suite. Returned to Cuenca for the night.
1 Feb	Drove from Cuenca to Tampanchi sampling a hornblende gabbro that occurs within the Alao-Paute volcanic rocks. Then drove on to Riobamba for the night.
2 Feb	Drove from Riobamba to Quito ending the field trip.
3 Feb-5 Mar	Working in Quito at the INEMIN laboratories in Chillogallo preparing rock samples.
6-19 Mar	On leave.

20 Mar	Flew from Quito to Cuenca and then drove by landrover to Paute and further east down the Rio Paute valley to collect garnetiferous rocks from a mixed sequence of meta-sedimentary and meta-volcanic rocks. Returned to Cuenca for the night.
21-27 Mar	On leave.
28 Mar	Visited INEMIN offices for final discussions with project staff.
29 Mar	Flew to U.K via Miami.
30 Mar	Arrived in Gatwick at mid-day.

INTRODUCTION

This report details the work undertaken during the second phase of geochronological sampling in Ecuador between 12 January and 29 March 1989. The work is part of an ODA technical co-operation project between BGS and INEMIN (Instituto Ecuatoriano de Mineria) on the geology of the Cordillera Real (BGS Overseas Division Project 14BJ).

The first phase of this geochronological sampling programme was carried out by Dr C.R. Rundle (Rundle, 1987a) in April and June of 1987. The samples collected during this period were primarily from the major plutons and were dated using Rb/Sr whole-rock and K/Ar mineral techniques (see Rundle, 1987b and Rundle, 1988 for the results of this analytical work).

The aim of the second phase of this programme was to collect samples firstly, from remaining plutons that had not been dated previously and secondly from garnetiferous metamorphic rocks. The plutonic rocks would be dated by a combination of Rb/Sr whole-rock and K/Ar mineral analysis, whereas the metamorphic rocks would be dated by Sm/Nd analysis on garnet - whole-rock pairs.

This work was carried out at the request of Drs Litherland and Aspden (BGS staff on secondment in Ecuador) to support their geological field observations. As with the previous sampling programme the selection of rock units and possible sampling localities was made by these geologists. Having collected the samples, the rocks were crushed and sieved at the INEMIN laboratories, south Quito. The isotope work will be carried out at NERC Isotope Geology Centre (NIGC) in London.

GEOLOGICAL SETTING

The Ecuadorian Andes are less than 150 km wide and occur in the central part of Ecuador with the coastal lowlands (la Costa) to the west and the upper Amazonian rain forest (El Oriente) to the east. The Andes comprise two parallel ranges; the western Cordillera Occidental and the eastern Cordillera Real. In the central and northern parts of Ecuador these ranges are separated by the Inter-Andean Depression (Fig. 1).

The Cordillera Real Project is therefore primarily concerned with the geology of the eastern Ecuadorian Andes. A brief summary of the geology of this region is presented here based on the work of Drs Litherland and Aspden (Litherland, 1988).

Two major fault zones, The Baños front and the Sub-Andean Front delineate three tectonic divisions; the Western, the Central and the Eastern belts (Fig. 2). The Western Belt comprises Late Mesozoic and Cenozoic sediments and lavas of which the most important unit is the Alao-Paute thought to represent part of an accreted island arc of Jurassic age. The Central Belt comprises migmatitic gneisses, various meta-sedimentary rocks of low metamorphic grade, a suite of predominantly deformed blue-quartz biotite granites with S-type characteristics (Tres Lagunas Suite) and typical I-type locally foliated hornblende-biotite granitoids of the Azafran Batholith. The Eastern Belt is characterized by two more granitoid batholiths with I-type characteristics; the northern Abitagua and the southern Zamora batholiths. Other rock types within this belt include various sedimentary formations ranging in age from Late Palaeozoic to Cretaceous. Small undeformed plutons of hornblende-biotite granitoids occur in both the Central and Eastern belts.

Rundle (1987b; 1988) showed that the Abitagua and Zamora batholiths are Middle to Lower Jurassic in age. The Azafran batholith yielded a Cretaceous age (120 ± 5 Ma) by the Rb/Sr whole-rock method, although one sample, thought to be part of the same intrusion, yielded concordant hornblende and biotite K/Ar mineral ages of 171 ± 5 and 176 ± 5 Ma respectively. Some of the undeformed plutons have yielded Tertiary ages. The age of the Tres Lagunas suite and the metamorphic rocks are unknown.

FIELDWORK

The main part of the fieldwork was conducted over a single three week period (17 Jan - 2 Feb 1989). One day of

sampling was also carried out on 20 March. During the sampling the author was accompanied and guided by Dr Aspden and his Ecuadorian counterpart geologist from INEMIN, Ing Viteri S. Two drivers were supplied by INEMIN and these men were also responsible for the rock drilling and dynamite blasting. Two vehicles were used for the fieldwork; an ODA landrover and an INEMIN pick-up truck.

Virtually all the localities visited were either road sections or at the banks of streams and rivers, which either crossed or were adjacent to roads. Although some localities away from the roads may have been better sampling sites, such trips are time consuming and logistically difficult to organize since it is necessary to hire guides and mules. In only one instance was such a trip made. At most localities it was necessary to use explosives to obtain fresh rocks due to the intense weathering but wherever possible sledge-hammers were also used.

84 samples were collected during the three week field trip and a further five samples were collected on the 20 March. Another 10 samples, previously collected by Dr Aspden and Ing Viteri S were also added to the collection, making a total of 99 samples for radiometric dating.

ROCK PREPARATION

At the end of the fieldwork all the samples were taken to the INEMIN laboratories at Chillogallo for crushing and, where mineral separation was necessary, for sieving. The samples were wire-brushed clean prior to being broken up into small pieces using a hammer and anvil. The pieces were then jaw-crushed and roller-milled to granule-size. Samples for Rb-Sr whole-rock analysis, were powdered in a tungsten carbide swing mill using representative 200 g portions removed by passing the granules through a rifle splitter.

Samples requiring mineral separation were crushed as finally as possible using the roller-mill and were then sieved taking fractions between mesh sizes 65 and 200 (74 - 200 μ) for mineral separation.

Originally it was planned that the mineral separation would also take place in Ecuador using a super-panner. However, this was not in operation during the author's visit and all the mineral separation will now be carried out in the U.K.

The 200 g powdered samples for Rb-Sr whole-rock analysis were sent back to the U.K. via the diplomatic bag but the much larger sieved fractions for mineral separation

were sent back by air-freight. All samples arrived safely in the U.K.

SUMMARY

The sampling programme was very successful with all requirements met. Crushing and sieving of the samples at the INEMIN laboratories was also successful. However. no mineral separation was carried out due to the super-panner being out of operation and this will now have to be done back in the U.K.

A list of the samples collected and the appropriate dating technique intended for each sample is presented in Table 1.

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to thank John Aspden and Fransisco Viteri for organizing the field trip and guiding me through the geology of much of Ecuador. The work of the INEMIN drivers (Manuel and Bolivar) in not only managing the vehicles but also in the safe handling of the rock drill and dynamite was much appreciated. The rock preparation at the INEMIN laboratories could not have been possible without the considerable help of the staff there and I am indebted to them.

Finally I would like to thank Martin and Lillia Litherland and especially John and Gail Aspden for all the warm hospitality they have shown me during my visit in Ecuador.

REFERENCES

LITHERLAND, 1988. Cordillera Real Geological Research Project: First Annual Report. British Geological Survey.

RUNDLE, 1987a. Geochronology sampling in Ecuador, 1987. Report No. 87/12. British Geological Survey, Isotope Geology Unit.

RUNDLE, 1987b. Rb-Sr analysis of rocks collected in May/June 1987 for the ODA-funded Cordillera Real Project, Ecuador. Report No. 87/1. NERC Scientific Services, Isotope Geology Centre.

RUNDLE, 1988. Potassium - Argon ages for minerals from the Cordillera Real, Ecuador. Report No. 88/7. NERC Scientific Services, Isotope Geology Centre.

Figure 1. Sketch map of Ecuador showing principle towns and roads.

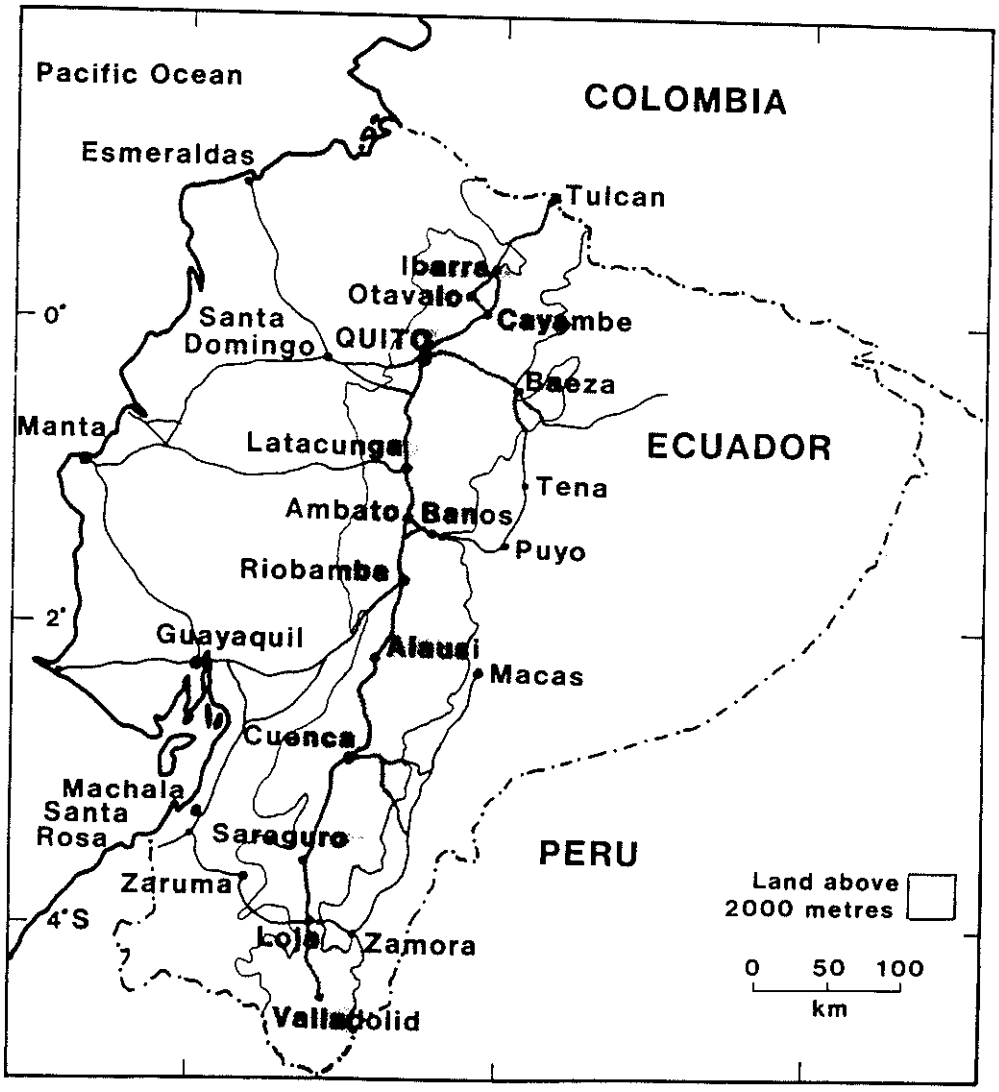


Figure 2. Provisional lithological/tectonic divisions of the Cordillera Real, Ecuador and their possible south-west extension into the El Oro Province based on Litherland (1988).

WB - Western Belt
CB - Central Belt
EB - Eastern Belt
BF - Baños Front
S-AF - Sub-Andean Front

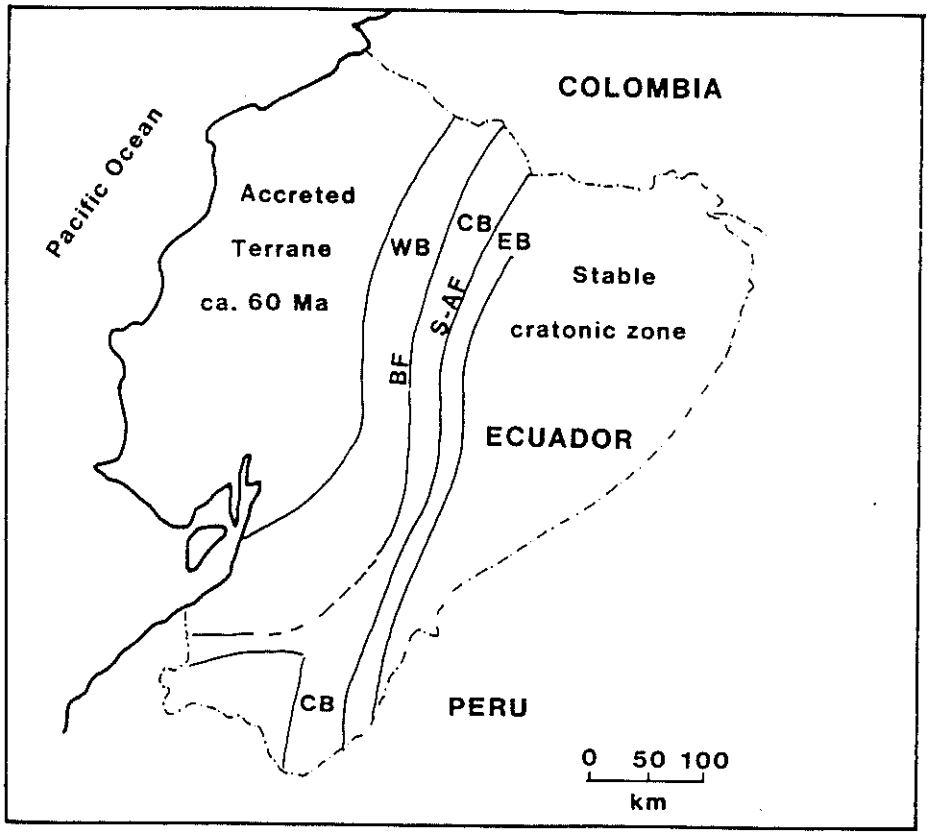


Table 1(a). List of samples collected for radiometric dating.

CODIGO DE LA MUESTRA	SECTOR	COORDENADAS	HOJA (1:50.000)	OBSERVACIONES
CR/SH/89-01A	Río Chalpi Grande	2470-5978	Papallacta	Anfibolita con granate
01B	Río Chalpi Grande	2470-5978	Papallacta	Gneis biotítico con granate bandeado
01C	Río Chalpi Grande	2470-5978	Papallacta	Gneis máfico con granate y biotita
01D	Río Chalpi Grande	2470-5978	Papallacta	Gneis biotítico con granate
CR/SH/89-02A	Archidona	8.5 km desde Jondachi, carretera Hollín-Loreto-Coca	Sardinas	Andesita félsica
02B	Archidona		Sardinas	Andesita félsica con hornblenda
02C	Río Hollín Chico		Sardinas	Tobas andesíticas con biotita y hornblenda.
02D	Río Hollín Grande	10.5 km desde Jondachi, carretero Hollín-Loreto-Coca	Sardinas	Andesita basáltica con hornblenda
CR/SH/89-03	Machay	8036-8449	Baños (Censal)	Granito de Azafrán
CR/SH/89-04A	Cantera de Balzas	3110-8468	Marcabelí	Monzonita ? rica en biotita
04B		3110-8468	Marcabelí	
04C		3110-8468	Marcabelí	
04D		3110-8468	Marcabelí	
04E		3110-8468	Marcabelí	

Table 1(a) cont.

CR/SH/89-04F 04G 04H 04I 04J	SE de Marcabelí Río Puyango	1882-7745 1882-7745 1882-7745 1882-7745 1882-7745	Marcabelí Marcabelí Marcabelí Marcabelí Marcabelí	Granodiorita rica en biotita leucocrática
CR/SH/89-05A 05B	Arenillas Arenillas	Arenillas Arenillas	Arenillas Arenillas	Anfibolita Anfibolita
CR/SH/89-06A 06B 06C 06D 06E	Sta. Teresita Sta. Teresita Sta. Teresita Sta. Teresita Sta. Teresita	ap. 9568-2128 ap. 9568-2128 ap. 9568-2128 ap. 9568-2128 ap. 9568-2128	La Avanzada La Avanzada La Avanzada La Avanzada La Avanzada	Gneis migmatítico con granate y biotita "La Bocana"
CR/SH/89-07A 07B	Río El Negro Río El Negro	2185-9115 2185-9115	Marcabelí Marcabelí	Granodiorita? "La Bocana" Pegmatita con cuarzo, turmalina y muscovita.
CR/SH/89-08A 08B	Portovelo Portovelo	Portovelo Portovelo	Zaruma Zaruma	Anfibolita Pegmatítica Anfibolita

CR/SH/89-09A	cerca Q. Honda	0551-0632	Yangana	Migmatita
09B	cerca Q. Honda	0551-0632	Yangana	Migmatita
09C	cerca Q. Honda	0551-0632	Yangana	Migmatita
09D	cerca Q. Honda	0551-0632	Yangana	Migmatita
09E	cerca Q. Honda	0551-0632	Yangana	Migmatita
09F	cerca Q. Honda	0551-0632	Yangana	Migmatita
09G	Q. Honda	0495-0551	Yangana	Rocas plutónicas
09H	Q. Honda	0495-0551	Yangana	foliadas con biotita
09I	Q. Honda	0495-0551	Yangana	y xenocristales de cuarzo
09J	R. Valladolid	0761-9745	Valladolid	Migmatita con biotita y granate
CR/SH/89-10A	Río Valladolid	0761-9745	Valladolid	Migmatita rica en
10B	Río Valadolid	0761-9745	Valladolid	biotita y con
10C	Río Valladolid	0761-9745	Valladolid	granate
10D	Río Valladolid	0761-9745	Valladolid	
CR/SH/89-11A	Q. La Picota	9172-3940	Nambacola	Conjunto "Tres Lagunas"
11B	Q. La Picota	9172-3940	Nambacola	Granito gneis con
11C	Q. La Picota	9172-3940	Nambacola	biotita, muscovita
11D	Q. La Picota	9172-3940	Nambacola	en casos turmalina
11E	Q. La Picota	9173-3940	Nambacola	(lado norte del
11F	Q. La Picota	9172-3940	Nambacola	Basamento de Malacatos)
11G	Q. Cobalera	ap. 8948-3852	Gonzanamá	
11H	Q. Cobalera	ap. 8948-3852	Gonzanamá	
11J	Q. Cobalera	ap. 8948-3852	Gonzanamá	

Table 1(a) cont.

CR/SH89-12A	Sabanilla	1990-5870	Loja Norte	Migmatita de Sabanilla - en casos ortogneis con biotita foliada - ortogneis máfico rico en biotita
12B	Sabanilla	1990-5870	Loja Norte	
12C	Sabanilla	1990-5870	Loja Norte	
12D	Sabanilla	1970-6000	Loja Norte	
12E	Sabanilla	1970-6000	Loja Norte	
12F	Sabanilla	1970-6000	Loja Norte	
12G	Sabanilla	1970-6000	Loja Norte	
12H	Sabanilla	1970-6000	Loja Norte	
12I	Sabanilla	1970-6000	Loja Norte	
12J	Sabanilla	1970-6000	Loja Norte .	
CR/SH/89-13A	Río Chicaña	4348-9269	Yantzaza	Diorita Hornblenda pegmatítica
13B	Río Chicaña	4348-9269	Yantzaza	Diorita hornbléndica
CR/SH/89-14A	Río Negro	1285-0522	Saraguro	Conjunto "Tres Lagunas" granito gneis con biotita, muscovita megacristales de cuarzo azul
14B	Río Negro	1285-0522	Saraguro	
14C	Río Negro	1285-0522	Saraguro	
14D	Río Negro	1285-0522	Saraguro	
14E	Río Negro	1285-0522	Saraguro	
14F	Río Negro	1285-9522	Saraguro	
14G	Río Negro	1285-0522	Saraguro	
14H	Río Negro	1285-0522	Saraguro	
14I	Río Negro	1285-0522	Saraguro	
14J	Tres Lagunas	1315-0475	Saraguro	
14K	Tres Lagunas	1315-0475	Saraguro	

Table 1(a) cont.

CR/SH/89-15	Río Pichanal	0445-9859	Saraguro	Granodiorita biotítica
CR/SH/89-16A	Sigsig	4765-5768	Sigsig	Granito gneis con
16B	Sigsig	4765-5768	Sigsig	cuarzo azul
16C	Sigsig	4765-5768	Sigsig	Conjunto "Tres Lagunas"
16D	Sigsig	4765-5768	Sigsig	
CR/SH/89-17A	Tampanchi	6188-0825	Cola de S.Pablo	Gabro hornbléndico
17B	Tampanchi	6188-0825	Cola San Pablo	Pegmatita hornbléndica
17C	Tampanchi	6188-0825	Cola San Pablo	Anfibolita
17D	Tampanchi	6188-0825	Cola San Pablo	Pegmatita hornbléndica

Table 1(a) cont.

CR FV 664 D	Chuquiragua	Amaluza	Granodiorita biotítica
CR FV 681	Río La Canela	La Canela	Granodiorita hornblenda biotítica
CR FV 815	Portachuela	Laguna Cox	Granite porphyry
CR FV 819	Portachuela	Laguna Cox	Granite porphyry
CR SH 18	Los Planes		Hornblende Andesite
CR SH 19	La Bocana	Marcabelí	Pegmatita con muscovita y turmalina

Table 1(b). Summary of samples collected for geochronology programme listing the intended radiometric dating techniques to be used for each suite of rocks.

All samples are prefixed by CR/SMH/89- except those from the last 4 localities, which are prefixed by CR/FV/-.
Abbreviations: gt - garnet; hb - hornblende; bt - biotite; musc - muscovite; wr - whole-rock.

01	(A - E)	(5)	**Garnet-bearing gneisses**, Papallacta. *10 Sm-Nd (5 gt + wr) & 1 K-Ar (hb).*
02	(A - D)	(3)	**Misahualli volcanic rocks**, Archidonna. *4 K-Ar (3 hb & 1 wr).*
03		(1)	**Granodiorite**, Azafran Quarry. *U-Pb (zircons).*
04	(A - J)	(10)	**Monzonite**, Marcabelli. *10 Rb-Sr (wr) & 4 K-Ar (bt).*
05	(A - B)	(2)	**Amphibolite**, Arenillas. *2 K-Ar (hb).*
06	(A - E)	(5)	**Garnet-bearing gneisses**, near La Bocana. *10 Sm-Nd (5 gt + wr) & 5 K-Ar (bt).*
07	(A - B)	(2)	**Muscovite pegmatites**, near La Bocana. *3 K-Ar (2 musc + 1 bt).*
08	(A - B)	(2)	**Amphibolites**, Portovello. *2 K-Ar (hb).*
09	(A - J)	(10)	**Meta-granitoid**, N of Valladolid. *10 Rb-Sr (wr).*
10	(A - D)	(4)	**Garnet-bearing gneisses**, Valladolid. *8 Sm-Nd (5 gt + wr) & 4 K-Ar (bt).*
11	(A - I)	(9)	**Tres Lagunas granite**, N of Malacatas. *9 Rb-Sr (wr) & 3 K-Ar (bt).*
12	(A - J)	(10)	**Sabanilla migmatite**, Sabanilla. *10 Rb-Sr (wr) & 4 K-Ar (bt).*
13	(A - B)	(2)	**Hb diorites**, Rio Chicaña. *2 K-Ar (Hb).*
14	(A - K)	(11)	**Tres Lagunas granite**, Tres Lagunas. *11 Rb-Sr(wr), 6 Sm-Nd(3 gt+wr), 3 K-Ar(bt)*
15		(1)	**Granodiorite**, N of Saraguro. *2 K-Ar (bt + hb).*
16	(A - D)	(4)	**Tres Lagunas granite**, Peggy Mine. *4 Rb-Sr (wr).*
17	(A - C)	(3)	**Tampanchi gabbro complex**, Tampanchi. *3 K-Ar (2 hb + 1 wr).*
18		(1)	**Andesite**, Los Planes. *1 K-Ar (hb).*
19		(1)	**Muscovite pegmatite**, La Bocana. *1 K-Ar (musc).*
20	(A - B)	(2)	**Amphibolites**, Guaramales, Rio Paute. *2 K-Ar (hb).*
21	(A - C)	(3)	**Garnet-bearing meta-sediments**, Rio Paute. *6 Sm-Nd (3 gt + wr).*
22	(A - B)	(2)	**Granodiorite**, Rio Paute. *4 K-Ar (2 hb + 2 bt).*

Table 1b (cont)

664 (D)	(1)	**Granodiorite**, Chuquiragua. *2 K-Ar (1 hb + 1 bt).*
681	(1)	**Granodiorite**, Rio La Canela. *2 K-Ar (1 hb + 1 bt).*
815	(1)	**Porphyry**, Portachuela. *1 K-Ar (bt).*
819 (A - B)	(2)	**Porphyry**, Portachuela. *2 K-Ar (bt).*

TOTAL 99 samples

5 Rb-Sr isochron suites (54 samples)
5 Sm-Nd isochron suites (20 gt+wr pairs)
32 K-Ar (bt)
20 K-Ar (hb)
3 K-Ar (musc)
2 K-Ar (wr)
1 U-Pb (zircons)

Appendix 2b

APENDICE 2b

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

TECHNICAL REPORT WC/90/12

Overseas Directorate Series

TECHNICAL REPORT WC/90/12

RADIOMETRIC AGES (RB-SR, K-AR AND SM-ND) FOR ROCKS FROM THE CORDILLERA REAL, ECUADOR: PHASE II

by

Stephen M Harrison

This report was prepared for the
Overseas Development Administration

Bibliographic Reference

Harrison, S.M. 1990
Radiometric Ages (RB-SR, K-AR and SM-ND)
for Rocks from the Cordillera Real, Ecuador

British Geological Survey
Technical Report WC/90/12

NERC Copyright 1990

Keyworth, Nottingham - British Geological Survey 1990

LIST OF CONTENTS

LIST OF TABLES AND FIGURES

INTRODUCTION Page 1

ANALYTICAL DETAILS Page 1
- Rb-Sr analysis 1
- Sm-Nd analysis 2
- K-Ar analysis 2

RESULTS Page 3
- CR/SH/89- 01 (A - E) 3
- CR/SH/89- 02 (A - D) 3
- CR/SH/89- 03 3
- CR/SH/89- 04 (A - J) 4
- CR/SH/89- 05 (A and B) 4
- CR/SH/89- 06 (A - E) 4
- CR/SH/89- 07 (A and B) 4
- CR/SH/89- 08 (A and B) 5
- CR/SH/89- 09 (A - J) 5
- CR/SH/89- 10 (A - D) 5
- CR/SH/89- 11 (A - I) 5
- CR/SH/89- 12 (A - J) 6
- CR/SH/89- 13 (A and B) 6
- CR/SH/89- 14 (A - K) 6
- CR/SH/89- 14 (A - K) 6
- CR/SH/89- 15 7
- CR/SH/89- 16 (A - D) 7
- CR/SH/89- 17 (A - C) 7
- CR/SH/89- 18 7
- CR/SH/89- 19 7
- CR/SH/89- 20 to CR/MP- 383A 8

BRIEF SUMMARY AND DISCUSSION Page 8

REFERENCES Page 10

LIST OF TABLES AND FIGURES

Table 1. List of samples collected.

Table 2. Rb-Sr data.

Table 3. Sm-Nd data.

Table 4. K-Ar data and calculated ages.

Fig. 1. Sm-Nd isochron diagram for the garnet gneisses of Papallacta (CR/SH/89- 01 A - E). No age can be obtained from this data.

Fig. 2. Rb-Sr isochron diagram for the Marcabeli pluton, El Oro (CR/SH/89- 04 A - J).

Fig. 3. Sm-Nd isochron diagram of the garnet gneisses from El Oro (CR/SH/89- 06 A - E and CR/SH/89- 19).

Fig. 4. Rb-Sr isochron diagram for the meta-granitoid suite of samples that outcrop on the road section near the top of the pass between Loja and Valladolid (CR/SH/89- 09 A - J).

Fig. 5(a). Rb-Sr isochron diagram for the Tres Lagunas granite exposed north of Malacatas (CR/SH/89- 11 A - I).
Fig. 5(b). As for Fig. 5(a) but without sample 11-G.

Fig. 6(a). Rb-Sr isochron diagram for the orthogneiss at Sabanilla (CR/SH/89- 12 A - J).
Fig. 6(b). As for Fig. 6(a) but with the data (E/87/23 A - H) from Rundle (1987b) added.

Fig. 7(a). Rb-Sr isochron diagram for the Tres Lagunas granite exposed at Tres Lagunas (CR/SH/89- 14 A - K).
Fig. 7(b). As for Fig. 7(a) but without sample 14-F.
Fig. 7(c). Combined data from Figs. 7(b) and 5(b) combining the TresLagunas granite suites from Tres Lagunas and Malacatas.

Fig. 8. Sm-Nd isochron diagram for the Tres lagunas granite using garnet separates from samples CR/SH/89- 14 D, E,and F and whole-rock data fron 14- D and F.

INTRODUCTION

This report details the analytical results of the second phase of the geochronology programme on rocks from the Cordillera Real, Ecuador as part of the BGS Overseas Division Project 14BJ. The first phase of this programme was carried out by Dr C.C. Rundle at the NERC Isotope Geology Centre and the results of this work are presented in Rundle (1987a; 1987b; 1988). The objective of this earlier work was to date the main granitoid intrusions of the Cordillera Real using Rb-Sr and K-Ar radiometric isotope techniques.

The second phase of the geochronology of the Cordillera Real project commenced in January 1989. The author was employed for a seven month contract by the British Geological Survey with funding from the Overseas Development Administration. Seven weeks were spent in Ecuador collecting, crushing and sieving the samples and the remainder of the time carrying out the mineral separation and radiometric dating in the U.K, based at the NERC Isotope Geology Centre. Details of the sample collection and preparation are presented in Harrison (1989).

The main objective of this second phase of geochronology was to attempt to date the main metamorphic units of the Cordillera Real, using a combination of Rb-Sr, K-Ar and Sm-Nd techniques.

ANALYTICAL DETAILS

Rb-Sr Analysis

Rb-Sr analysis was carried out on whole-rock powder samples from meta-plutonic rocks and orthogneisses.

Rb/Sr ratios were analysed by X-ray fluorescence using an automated Philips spectrometer. Pressed powder pellets were made for this purpose. The analysis was carried out by the Analytical Chemistry section of the British Geological Survey at Grays Inn Road, London. For the strontium isotope determination, strontium was extracted from the samples using acid dissolution and ion exchange methods in a clean-chemistry laboratory. The strontium isotopes were then analysed on an automated multi-collector VG354 mass spectrometer.

The Rb/Sr ratios are quoted with a blanket error of ± 0.5 % (1-Sigma). Replicate analyses of samples and standards suggest that an error of ± 0.005 % is appropriate for the strontium isotope measurements. Replicate analyses of international standards indicates that the results are accurate within the precision estimates.

The errors on age and initial ratio (Ri) are quoted as 2-sigma (95 % confidence level) and refer to the last significant figure. Best-fit lines on the isochron diagrams were calculated using a least-squares fitting programme. Where the calculated parameter MSWD (Mean Standard of Weighted Deviates) exceeds 3.0 it is inferred that the points do not all fit the line within the limits of analytical error and, following conventional practice, the errors on age and intercept are enhanced by multiplying by the sqare root of the MSWD. All ages are calculated using a decay constant for ^{87}Rb of 1.42×10^{-11}.

Sm-Nd Analysis

This technique is used on multiple whole-rock and garnet pairs relying on the fractionation of the rare earth elements in garnet relative to the host whole-rock.

Sm and Nd are analysed by a double isotope dilution method. Powdered whole-rock and garnet samples are dissolved in acid with an added amount of a Sm-Nd mixed spike. Both the Sm and the Nd are then extracted using ion exchange methods and are separately analysed on the VG354 mass spectrometer. The Nd isotope determination is carried out automatically during the same run as the Nd concentration analysis.

Errors on the Sm/Nd and the 143/144 Nd analyses are quoted as 0.2 % and 0.005 % (1-sigma) respectively, again based on replicate international standards. The results are presented in the form of isochron diagrams similar to Rb-Sr and the techniques used in calculating the best-fit lines, ages and errors are the same.

K-Ar Analysis

K-Ar analysis was carried out predominantly on biotite, muscovite, and hornblende separates and only rarely on whole-rock samples. This technique was used on virtually all suites collected where the appropriate unaltered minerals were present to support either the Rb-Sr or the Sm-Nd results.

The potassium was determined, at least in duplicate, using an Instrumentation Laboratories IL543 flame photometer with lithium as internal standard. The argon was extracted by fusion under vacuum using external Radio-frequency Induction heating and analysed by the isotope dilution method in a VG Isotopes MM1200 mass spectrometer.

Replicate determinations of in-house standards suggest that an overall precision of ± 1 % (1-sigma) is realistic for the potassium analyses. The error on the radiogenic argon determination is partly dependent on the amount of contaminating atmospheric argon, which often relects the degree of deuteric alteration and hence varies considerably between samples. The argon spike system was calibrated against international standards and so the results can be expected to be accurate within the

limits of analytical error. The ages were calculated using the constants recommended by Steiger and Jaeger (1977) and the error on the age is quoted at the 95 % confidence level.

RESULTS

A list of the samples collected is presented in Table 1. The Rb-Sr and Sm-Nd analyses are presented in Tables 2 and 3 respectively with the isochron diagrams shown in Figs. 1 - 8. The K-Ar analyses and the calculated ages are presented in Table 4. Results from each of the suites collected are described and discussed below.

CR/SH/89- 01 (A - E): migmatitic garnet gneisses, Papallacta (7 km east of Papallacta in river bed).

All the samples are pelitic garnet biotite gneisses with graphite and small amounts of muscovite with the exception of 1A, which is a garnet amphibolite.

Sm-Nd data (Fig. 1): the garnet from these rocks shows little, and in some cases no fractionation of the Sm/Nd ratio. Hence it is not possible to obtain a reliable age from this data. The garnet amphibolite (01-A) has higher $^{143}Nd/^{144}Nd$ and Sm/Nd ratios but the line joining this sample with the other samples as shown is more likely to be a mixing line rather an indication of the age.

K-Ar data (Table 4): the apparent ages obtained vary from Precambrian to Tertiary. To make any sense of this data it would be necessary to analyse more samples from this locality. The most likely situation is that the K-Ar systematics have been altered leading to, in some cases, local enrichment of radiogenic argon and hence old ages. At this stage these ages should not be interpreted as "true" ages.

CR/SH/89- 02 (A - D): andesitic lavas (A - C) and an olivine basalt (D), Archidonna.

The andesites are part of the Misahualli Formation but the olivine basalt is likely to be post-Cretaceous in age.

None of these samples have been analysed since it was not possible to extract any hornblende from the andesite samples and the olivine basalt was thought not to be important to this study.

CR/SH/89- 03: granodiorite, Azafran quarry.

This sample was collected for U-Pb zircon analysis. It has not been possible to do this work since there has neither been the time to separate the zircons nor the facilities at NIGC to carry out the analysis.

CR/SH/89- 04 (A - J): monzonite, Marcabeli, El Oro Province.

Samples 04 A - E were collected from a quarry 1 km south of Las Balsas and the other five samples were collected from approximately 10 km west, where the road meets the Rio Puyango. No outcops were seen between these two localities but it was thought quite likely that they represented the same intrusion.

Rb-Sr data (Fig. 2): the data form a scatter on the isochron diagam and no age can be obtained. Plotting the data from the two localities separately makes little difference. Clearly the Sr isotope systematics in these rocks are not in equilibrium.

K-Ar data (Table 4): the ages from biotite and muscovite samples from 04 A and 04 H vary from 221 to 193 Ma and all are almost within error of each other. Without good Rb-Sr data it is not possible to say for certain whether the dates represent reset metamorphic ages or original crystallization ages. All the rocks appear undeformed, which would suggest the latter but biotite and muscovite K-Ar ages from metamorphic rocks, also in the El Oro Province (06 and 07), indicate a metamorphic event at this time.

CR/SH/89- 05 (A and B): amphibolites, Arenillas, El Oro Province.

These rocks are from the Piedras Group and Kennerly (1980) had obtained an age of 743 ± 14 Ma from an amphibole separate with very low K content (0.084 %). It was hoped that this age could be confirmed from the rocks collected in this study.

K-Ar data (Table 4): both hornblende separates with typical K contents (0.36 %) yielded ages of approximately 70 Ma. These are almost certainly reset ages and cannot discount the Precambrian age of Kennerly (1980).

CR/SH/89- 06 (A - E): pelitic garnet biotite muscovite gneisses with graphite, Santa Terista near La Bocana, El Oro Province. These samples are from the Tahuin Group.

Sm-Nd data (Fig. 3): the data from 06 samples are combined with sample 19 (see below) and together form a well-defined isochron indicating an age of 217 ± 24 Ma for the growth of the garnet. This age corresponds very well with the K-Ar data, which is clear evidence that this is the age of an important metamorphic event.

K-Ar data (Table 4): the biotite and muscovite ages from the samples 06-B, -C, -D are all within error of each other and vary from 213 and 207 Ma. The close correspondence with the age of the garnet growth indicates that these ages represent the metamorphic crystallization of these minerals.

CR/SH/89- 07 (A and B): felsic pegmatites, Rio Negro near La Bocana, El Oro Province. These samples are also part of the Tahuin Group and are closely associated with

the samples from 06 above. It was not possible to extract either biotite or muscovite from 07-B.

K-Ar data (Table 4): the ages from the biotite and muscovite from 07-A (216 and 220 Ma respectively) are slightly older than those from the 06 samples but are still in close agreement.

CR/SH/89- 08 (A and B): amphibolites, Portovello.

These amphibolites could be related to those at Arenillas and again it was hoped to confirm or disprove a Precamrian age.

K-Ar data (Table 4): both the amphiboles extracted from these samples have very low K content (0.07 and 0.05) but yield very different ages (224 and 647 Ma) even though they are from the same outcrop. The 224 Ma age may be representing the metamorphic event defined in 06 and 07 but the 647 Ma age cannot be relied upon and, as with the 01 samples, 07-B has probably suffered argon enrichment.

CR/SH/89-09 (A - J): meta-granitoid, top of pass between Loja and Valladolid.

This intrusion is adjacent to high grade metamorphic rocks (similar to those of 10) but the contacts are not exposed. However the rocks show signs of weathering and were only analysed for Rb-Sr.

Rb-Sr data (Fig. 4): the combined data define a poor errorchron of 357 ± 99 Ma with a very high MSWD of 1877. Although the age is poorly constrained the linear array, which the data define, suggests that the age may be meaningful.

CR/SH/89-10 (A - D): migmititic garnet biotite muscovite gneisses with graphite, Valladolid.

Sm-Nd data: the garnet from these rocks, as with those from Pappallacta, has not fractionated the Sm/Nd ratio and hence it is not possible to obtain an age from these rocks by this method.

K-Ar data: the ages obtained from the muscovite and biotite from these rocks vary from 85 to 69 Ma. These are likely to be reset ages.

CR/SH/89-11 (A - I): 2-mica meta-granitoid of the Tres Lagunas suite, Malacatas.

Rb-Sr data (Fig. 5): the combined data yields a poor errorchron of 116 ± 40 with an MSWD of 136. However the sample 11-G plots well away from the rest of the samples and ommitting this point the age increases to 194 ± 50 with a much lower MSWD of 49.5. The high error on the age is due to the restricted variation of the Rb/Sr ratio. The 194 Ma age would appear to be the more realistic but as yet there is no geological reason for omitting this sample. A detailed petrographic analysis may resolve the problem.

K-Ar data (Table 4): the muscovite separates give very consistent ages of about 99 Ma whereas the biotite separates from the same rock yield ages of approximately 64 Ma. The biotites are clearly reset and it appears that the muscovites are also reset but at earlier stage being unaffected by the 64 Ma event.

CR/SH/89- 12 (A - J): orthogneiss suite of the Sabanilla metamorphic complex, Sabanilla.

This orthogneiss was analysed by Rundle (1987b) and he had obtained an age of 233 ± 51 Ma (MSWD = 175) from a suite of rocks collected along a 2 km section. In an attempt to reduce the errors on this age another suite of samples were collected from just one outcrop of less than 10 m2 .

Rb-Sr data: the set of samples analysed here define an errorchron giving an age of 198 ± 45 Ma (MSWD = 25.3) (Fig. 6a, which is a slightly better constrained age than previosly obtained. When the two datasets are combined together (Fig. 6b), an age of 224 ± 37 Ma with an MSWD of 108. Although there are still large errors involved this seems to be a realistic age but it is not known whether this represents a metamorphic age (it corresponds well with the metamorphic event above) or an original intrusive age.

K-Ar data (Table 4): the muscovites yield ages of 65 Ma and the biotites give ages of about 85 Ma. Both of these ages are represent reset events. It is unusual to have muscovites giving younger ages than co-existing biotites but the muscovite in this case does not appear to be particularly fresh.

CR/SH/89- 13 (A and B): hornblende diorites, Rio Chicana.

These two samples were collected north of Zamora and are probably part of the Zamora batholith.

K-Ar data (Table 4): both hornblendes give ages of about 190 Ma and this is consistent with the oldest ages from the Zamora batholith (Rundle, 1987b;1988).

CR/SH/89- 14 (A - K): Tres Lagunas granite, Tres Lagunas.

Rb-Sr data: when all the samples are plotted together a poorly constrained age of 156 ± 40 with an MSWD of 457 is obtained (Fig. 7a). Sample 11-F was noted in the field as having alteration veins running through it and if this sample is removed the error is reduced and the MSWD is halved (289) and an age of 189 ± 43 Ma is obtained (Fig. 7b). This is still an errorchron but interestingly this age is very similar to that of the Tres Lagunas granite at Malacatas (194 ± 50 Ma) and they both have very similar initial ratios (0.7122 and 0.7129). In Fig. 7c the two data sets are combined and a considerably better constrained age of 200 ± 12 Ma (MSWD

= 169) is achieved with an Ri = 0.7120. This strongly suggests that the two suites are petrogentically related.

Sm-Nd data: three of the samples collected (14-D, 14-E, and 14-F) contained garnet and these were separated out for Sm-Nd analysis with two whole-rock samples (14-D and 14-F). When plotted the data define a poorly constrained isochron with an age of 257 ± 125 Ma but with a low MSWD (0.7) (Fig. 8). The high errors are due to the restricted spread in the Sm/Nd ratios. The Rb-Sr data is probably a better indicator of the age of this intrusion.

K-Ar data (Table 4): both the biotites and the muscovites yield similar ages ranging between 70 and 60 Ma with the latter giving consistently older ages. Again these are interpreted as reset ages.

CR/SH/89- 15: granodiorite, North Saraguro.

Biotite and hornblende have been separated from this sample but due to the lack of time have not been analysed. The amount of hornblende may be insufficient for K-Ar analysis.

CR/SH/89- 16 (A - D): Tres Lagunas granite, Peggy mine.

Although these samples were collected, the pervasive mineralized alteration of the rocks indicated that it was highly unlikely that an original crystallization age could be obtained and hence these samples have not been analysed.

CR/SH/89- 17 (A - C): mafic igneous complex, Tampanchi.

Samples 17-A and B are hornblende meta-gabbros and 17-C is a meta-basalt.

K-Ar data (Table 4): both the hornblende separates from 17-A and B and the whole-rock analysis from 17-C give similar ages of between 60 and 65 Ma. It is very unlikely these are the original crystallization age of these rocks and more likely to be the age of the deformation, which is closely associated with this complex.

CR/SH/89- 18: andesite, Los Planes.

This sample is ready for whole-rock K-Ar analysis but again due to the lack of time has not been analysed.

CR/SH/89- 19: garnet tourmaline felsic pegmatite, El Oro.

This sample comes from a locality very close to 07 above. The garnet from this sample was analysed in the hope that it would extend the range of the Sm/Nd data of the 06 samples above.

Sm-Nd data: the data from this sample has been plotted with that of the 06 samples (Fig. 4) and fortunately do extend the range of the Sm/Nd ratios considerably producing a well-constrained age (219 ± 22 Ma).

K-Ar data (Table 4): muscovite was separated from this sample and this gave an age of 189 ± 5 Ma, which is also similar to the other mica ages of the 06 and 07 samples.

All the remaining samples from **CR/SH/89-20** to **CR/MP-383A** listed in Table 1 have not been analysed. These samples were sent from Ecuador in May 1989 by Dr John Aspden. Three of these suites were collected for Sm-Nd garnet - whole-rock analysis but the laboratories at NIGC were fully booked up and there was no possibility, even if time had been available, to do this work.

BRIEF SUMMARY AND CONCLUSIONS

A large proportion of the samples collected have been analysed and the results, although not as well-constrained as one might like, have provided some important information.

The results from the El Oro samples were the most successful and an important metamorphic event at 220 - 200 Ma has been defined by both the Sm-Nd and the K-Ar data. There is a remarkable similarity between the garnet gneisses of the El Oro and those from Papallacta in the north and Valladolid from the south of the Cordillera Real. The most important similarity being that all the samples contain abundant graphite with shiny lustre and in platy form such that it floats in water. It therefore seems likely that the El Oro and the Cordillera Real garnet gneisses were originally part of the same metamorphic complex. Although the garnets from the Cordillera Real have not fractionated the Sm/Nd and hence it has not been possible to prove that they are of the same age, the Rb-Sr data from the Sabanilla orthogneiss (CR/SH/89-12) does indicate that an important event at approximately 220 Ma was occurring in the Cordillera Real.

The age of the Tres Lagunas granite suite is relatively well-constrained at about 200 Ma from both the Rb-Sr and the Sm-Nd data. The initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio (0.7120) is considerably higher than that of the Abitagua, Azafran and Zamora granitoids (approximately 0.705) and clearly indicates that the Tres Lagunas granite has had a much greater crustal component involved in its genesis than the other granitoids. It is quite likely that the Tres Lagunas granite represents a crustal melt and related to the 220 - 200 Ma metamorphic event.

Another important feature of the data is the considerable number of reset ages between 80 and 50 Ma. This is clearly an important event and probably dating a phase of deformation within the Cordillera Real.

The data from the first phase of the geochronology programme carried out by Dr Chris Rundle (Rundle, 1987a, 1987b, and 1988) has shown that the main intrusion of the typical Andean calc-alkaline granitoids (Abitagua, Zamora and possibly the Azafran batholiths) occurred between 190 and 160 Ma. He has also shown that similar granitoids were emplaced at a much younger age of approximately 50 - 40 Ma ago. When the data from the two phases of geochronology are combined a very basic strato-tectonic history of the region studied can be compiled:

220 - 200 Ma :	high grade metamorphism and intrusion of the Tres Lagunas granites.
190 - 160 Ma :	intrusion of the large Andean calc-. alkaline batholiths (Abitagua and Zamora). Minor calc-alkaline plutonism continued till about 140 Ma.
80 - 60 Ma :	mojor resetting of Rb-Sr and K-Ar isotope systematics most likely related to an important deformation event.
50 - 20 Ma :	minor calc-alkaline plutonism (eg. San Lucas, Portacheula plutons).

It is felt that during the planning of this project not enough time was allocated for the analytical work. Also the NIGC laboratories are to be moved from Grays Inn Road to Keyworth in December 1989 and this put increased pressure on the use of the laboratories and hence not as many samples were analysed as hoped.

REFERENCES

HARRISON, S.M. 1989. Report on a visit to Ecuador: geochronology sampling, Phase II. British Geological Survey Technical Report No. WC/89/10/R.

KENNERLEY, J.B. 1980. Outline of the geology of Equador. Overseas Geology and Mineral Resources, British Geological Survey, No. 55, 20 pp.

RUNDLE, C.C. 1987a. Geochronology sampling in Ecuador, 1987. Report No. 87/12. British Geological Survey, Isotope Geology Unit.

RUNDLE, C.C. 1987b. Rb-Sr analysis of rocks collected in May/June 1987 for the ODA-funded Cordillera Real Project, Ecuador. Report No. 87/1. NERC Scientific Services, Isotope Geology Centre.

RUNDLE, C.C. 1988. Potassium - Argon ages for minerals from the Cordillera Real, Ecuador. Report No. 88/7. NERC Scientific Services, Isotope Geology Centre.

STEIGER, R.H. and JAGER, E. 1977. Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. Earth and Planetary Science Letters, 36, 359-62.

Table 1. List of samples collected for geochronology programme.

All samples are prefixed by CR/SMH/89- except those from the last 6 localities: samples 664 to 819 are prefixed by CR/FV/- and samples 383 and 387 are prefixed by CR/MP/-.

01 (A - E)	(5)	**Garnet-bearing gneisses**, Papallacta.
02 (A - D)	(3)	**Misahualli volcanic rocks**, Archidonna.
03	(1)	**Granodiorite**, Azafran Quarry.
04 (A - J)	(10)	**Monzonite**, Marcabelli.
05 (A - B)	(2)	**Amphibolite**, Arenillas.
06 (A - E)	(5)	**Garnet-bearing gneisses**, near La Bocana.
07 (A - B)	(2)	**Muscovite pegmatites**, near La Bocana.
08 (A - B)	(2)	**Amphibolites**, Portovello.
09 (A - J)	(10)	**Meta-granitoid**, N of Valladolid.
10 (A - D)	(4)	**Garnet-bearing gneisses**, Valladolid.
11 (A - I)	(9)	**Tres Lagunas granite**, N of Malacatas.
12 (A - J)	(10)	**Sabanilla migmatite**, Sabanilla.
13 (A - B)	(2)	**Hb diorites**, Rio Chicaña.
14 (A - K)	(11)	**Tres Lagunas granite**, Tres Lagunas.
15	(1)	**Granodiorite**, N of Saraguro.
16 (A - D)	(4)	**Tres Lagunas granite**, Peggy Mine.
17 (A - C)	(3)	**Tampanchi gabbro complex**, Tampanchi.
18	(1)	**Andesite**, Los Planes.
19	(1)	**Muscovite pegmatite**, La Bocana.
20 (A - B)	(2)	**Amphibolites**, Guaramales, Rio Paute.
21 (A - C)	(3)	**Garnet-bearing meta-sediments**, Rio Paute.
22 (A - B)	(2)	**Granodiorite**, Rio Paute.
23 (A - D)	(4)	**Garnet-bearing semi-pelites**, Loja.
24 (A - D)	(4)	**Garnet gneisses**, Monte Olivo.
664 (D)	(1)	**Granodiorite**, Chuquiragua.
681	(1)	**Granodiorite**, Rio La Canela.
815	(1)	**Porphyry**, Portachuela.
819 (A - B)	(2)	**Porphyry**, Portachuela.
387C	(1)	**Amphibolite**, Tampanchi.
383A	(1)	**Amphibolite**, Tampanchi.

Table 2. Rb-Sr data

Sample No.	Rb	Sr	Rb/Sr	87Sr/86Sr
Marcabeli pluton El Oro				
4A	129.8	120.3	1.1061	0.723104
4B	128.0	124.6	1.0532	0.722230
4C	121.1	121.4	1.0234	0.721802
4D	113.1	104.2	1.1128	0.719046
4E	129.2	103.5	1.2808	0.723970
4F	142.2	122.7	1.1889	0.721411
4G	126.2	118.3	1.0943	0.720337
4H	127.4	108.71	1.2025	0.724581
4I	116.4	104.0	1.1485	0.719453
4J	138.5	102.8	1.3821	0.722461
Orthogneiss, pass between Loja and Valladolid				
9A	139.6	79.2	1.7069	0.734322
9B	136.6	73.3	1.9107	0.735133
9C	115.7	64.5	1.8405	0.734817
9D	112.0	83.6	1.3734	0.728841
9E	141.0	86.6	1.6705	0.735410
9F	134.9	97.6	1.4184	0.727562
9G	122.7	118.0	1.0680	0.722429
9H	222.6	147.5	1.5479	0.733774
9I	130.8	134.1	1.0000	0.724539
9J	136.0	116.8	1.1935	0.728270
Tres Lagunas granite, Malacatas				
11A	124.5	142.0	0.8995	0.719228
11B	124.6	138.3	0.9250	0.719943
11C	129.5	133.8	0.9927	0.719672
11D	117.5	144.6	0.8338	0.718839
11E	126.1	137.1	0.9427	0.719751
11F	131.9	168.0	0.8053	0.718713
11G	138.7	99.5	1.4295	0.721565
11H	134.3	131.1	1.0507	0.720755
11I	135.1	129.4	1.0669	0.720828
Orthogneiss, Sabanilla				
12A	106.2	188.7	0.5771	0.718015
12B	97.8	207.8	0.4825	0.716907
12C	83.7	182.5	0.4706	0.716864
12D	82.8	178.6	0.4754	0.716712
12E	104.0	204.9	0.5202	0.717176
12F	100.3	191.3	0.5378	0.717407
12G	117.5	209.9	0.5742	0.717429
12H	87.9	188.6	0.4782	0.716711
12I	82.7	176.2	0.4816	0.716707
12J	73.5	214.5	0.3514	0.715962

Table 2 (cont).

Sample No.	Rb	Sr	Rb/Sr	87Sr/86Sr
Tres Lagunas granite, Tres Lagunas				
14A	189.7	95.0	2.0502	0.728677
14B	174.8	106.9	1.6770	0.725903
14C	186.7	93.3	2.0522	0.728931
14D	182.7	102.0	1.8379	0.728399
14E	175.1	97.3	1.8459	0.726842
14F	217.6	85.7	2.6050	0.730760
14G	186.3	97.7	1.9560	0.729059
14H	197.0	85.8	2.3562	0.730438
14I	173.7	103.2	1.7274	0.725799
14J	169.8	109.9	1.5839	0.725207
14K	144.7	102.1	1.4490	0.723795

Table 3. Sm-Nd Data. All samples are prefixed by CR/SH/89-. Abbreviations used: wr - whole rock; gt - garnet; ogt - orange garnet; pgt - pink garnet.

Sample No.	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$
Garnet gneiss suite, Papallacta				
1A (wr)	5.72	17.45	0.1982	0.512903
1A (gt)	1.82	6.00	0.1834	0.512923
1B (wr)	10.12	49.77	0.1229	0.512066
1B (gt)	8.49	33.95	0.1512	0.512122
1C (wr)	5.70	23.90	0.1441	0.512424
1C (gt)	6.76	24.69	0.1591	0.512630
1D (wr)	8.84	44.96	0.1189	0.512011
1D (gt)	5.84	24.30	0.1453	0.511994
1E (wr)	8.16	41.11	0.1200	0.512025
1E (ogt)	8.18	36.30	0.1362	0.512053
1E (pgt)	5.66	22.10	0.1548	0.512083
Garnet gneiss suite, El Oro				
6A (wr)	5.59	30.63	0.1102	0.512075
6A (gt)	4.56	14.52	0.1898	0.512220
6B (wr)	7.63	37.41	0.1232	0.512132
6B (gt)	6.62	23.54	0.1700	0.512170
6C (wr)	6.33	34.64	0.1105	0.512074
6C (gt)	4.22	10.73	0.2377	0.512280
6D (wr)	7.92	40.13	0.1193	0.512111
6D (gt)	5.53	16.74	0.1997	0.512245
6E (wr)	7.23	38.83	0.1126	0.512099
6E (gt)	4.83	14.93	0.1956	0.512237
Garnet gneiss suite, Valladolid				
10A (wr)	5.11	24.09	0.1283	0.512056
10A (gt)	8.24	33.85	0.1471	0.512013
10C (wr)	7.07	31.57	0.1355	0.512067
10C (gt)	7.46	36.92	0.1221	0.512038
10D (wr)	6.69	33.11	0.1221	0.512049
10D (gt)	5.94	26.72	0.1344	0.512052
Tres Lagunas granite suite, Tres Lagunas				
14D (wr)	6.41	28.93	0.1339	0.512283
14D (gt)	13.97	41.23	0.2048	0.512410
14E (gt)	18.65	86.81	0.1299	0.512271
14F (wr)	6.80	29.92	0.1374	0.512304
14F (gt)	6.29	26.81	0.1418	0.512340

Table 4. K-Ar data and calculated ages. All samples are prefixed by CR/SH/89-. Abbreviations used: atm - atmospheric; rad - radiogenic; hb - hornblende; bt - biotite; musc - muscovite; wr - whole rock.

Sample No.	K (%)	Atm ^{40}Ar (%)	Rad ^{40}Ar (nl/g)	Age (Ma)
Garnet gneisses, Papallacta				
1A(hb)	0.294	76.51	4.301	342 ± 23
1A(hb)	0.294	44.89	3.815	306 ± 10
1B(bt)	5.817	27.13	243.146	844 ± 20
1B(bt)	5.741*	9.29	253.597	881 ± 44
1C(msc)	6.965	50.93	20.373	73.7 ± 3
Marcabeli pluton, El Oro				
4A(bt)	7.497	72.05	61.798	201 ± 12
4A(msc)	8.405	9.72	74.353	214 ± 6
4H(bt)	7.651	7.06	70.042	221 ± 6
4H(msc)	6.997	74.92	55.487	193 ± 13
Amphibolites, Arenillas, El Oro				
5A(hb)	0.370	91.23	1.062	72.4 ± 15
5B(hb)	0.358	76.17	1.051	74.0 ± 6
5B(hb)	0.358	81.36	1.080	76.0 ± 7
Garnet gneisses, El Oro				
6B(bt)	6.26	28.24	54.375	211 ± 6
6C(msc)	7.04	11.08	61.822	213 ± 6
6D(msc)	5.68	14.82	48.492	207 ± 6
Pegmatitic gneisses, El Oro				
7A(msc)	8.45	32.94	76.941	220 ± 6
7A(bt)	7.47	8.67	66.548	216 ± 6
Amphibolites, Portovello				
8A(hb)	0.07	88.72	0.602	224 ± 34
8b(hb)	0.05	75.43	1.389	647 ± 37
Garnet gneisses, Valladolid				
10A(msc)	6.54	43.85	17.809	68.8 ± 2
10A(bt)	7.02	28.51	23.672	84.7 ± 2
10C(bt)	7.20	23.56	23.274	81.3 ± 2
10C(msc)	6.50	58.22	18.926	73.4 ± 3
10D(bt)	7.41	32.83	24.085	81.8 ± 2
Tres Lagunas granite, Malacatas				
11A(msc)	7.45	44.87	29.642	99.6 ± 3
11A(bt)	7.43	85.80	18.996	64.6 ± 9
11B(msc)	7.32	18.07	28.793	98.5 ± 3
11B(bt)	7.43	67.56	18.531	63.1 ± 3
11F(msc)	7.75	32.59	30.615	98.9 ± 3
11F(bt)	7.26	46.30	18.827	65.5 ± 2

Table 4. (cont.)

Sample No.	K (%)	Atm ^{40}Ar (%)	Rad ^{40}Ar (nl/g)	Age (Ma)
Sabanilla orthogneiss, W of Zamora				
12A(bt)	7.83	32.67	26.348	84.5 ± 3
12A(msc)	6.09	33.14	15.841	65.7 ± 2
12C(bt)	7.78	15.23	26.784	86.4 ± 2
12C(msc)	5.72	50.44	14.864	65.6 ± 2
Diorites, Rio Chicana				
13A(hb)	0.17	63.96	1.331	193 ± 9
13B(hb)	0.16	81.95	1.230	187 ± 17
Tres Lagunas granite, Tres Lagunas				
14D(bt)	7.225	25.96	17.619	61.7 ± 2
14D(msc)	6.29	61.01	16.812	67.5 ± 3
14E(bt)	7.09	33.25	14.109	50.5 ± 2
14E(msc)	8.13	36.11	23.584	73.1 ± 2
14F(bt)	7.26	43.42	17.725	61.7 ± 2
14F(msc)	7.77	47.33	21.186	68.8 ± 2
Timpanchi mafic igneous complex, Timpanchi				
17A(hb)	0.53	63.40	1.386	65.7 ± 3
17b(hb)	0.51	71.69	1.229	61.2 ± 4
17C(wr)	0.12	88.29	0.276	60.6 ± 10
Pegmatite gneiss, El Oro (as for 07 samples)				
19(msc)	8.51	15.30	65.994	189 ± 5

Fig. 1. Sm-Nd isochron diagram for the garnet gneisses of Papallacta (CR/SH/89- 01 A - E). No age can be obtained from this data.

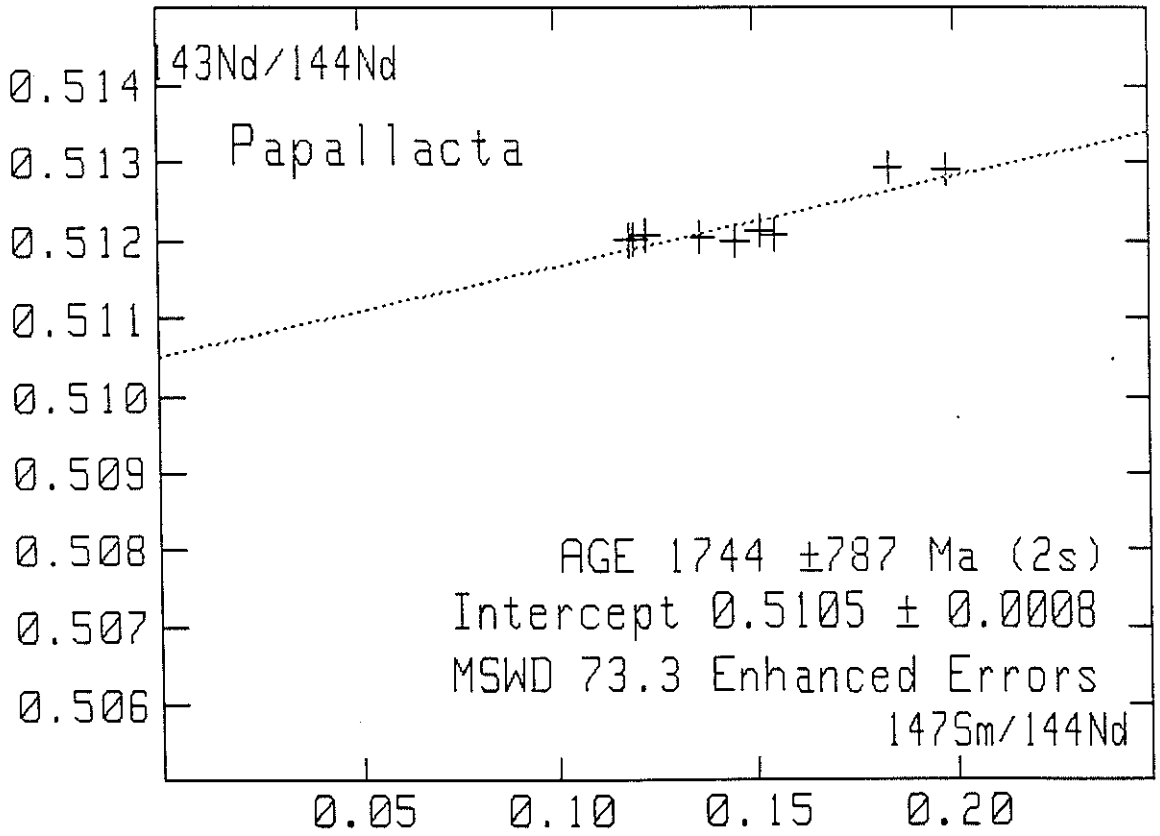


Fig. 2. Rb-Sr isochron diagram for the Marcabeli pluton, El Oro (CR/SH/89- 04 A - J).

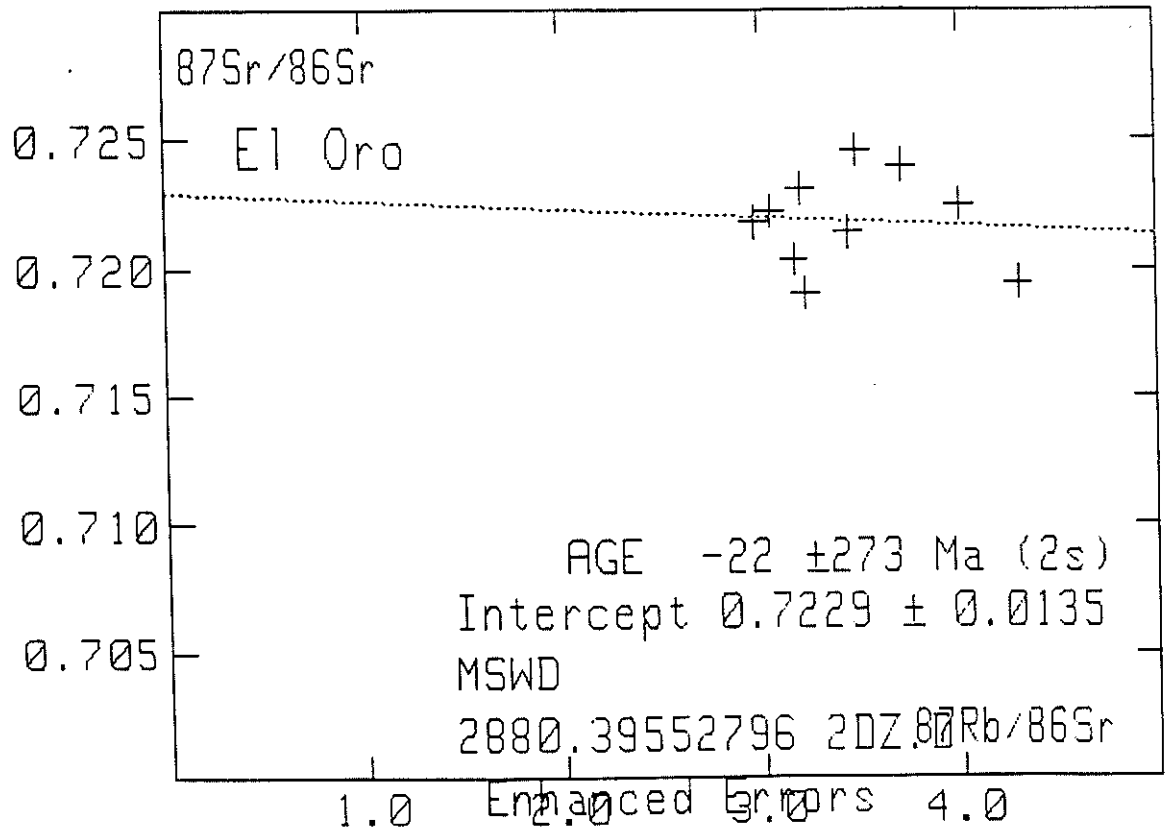


Fig. 3. Sm-Nd isochron diagram of the garnet gneisses from El Oro (CR/SH/89- 06 A - E and CR/SH/89- 19).

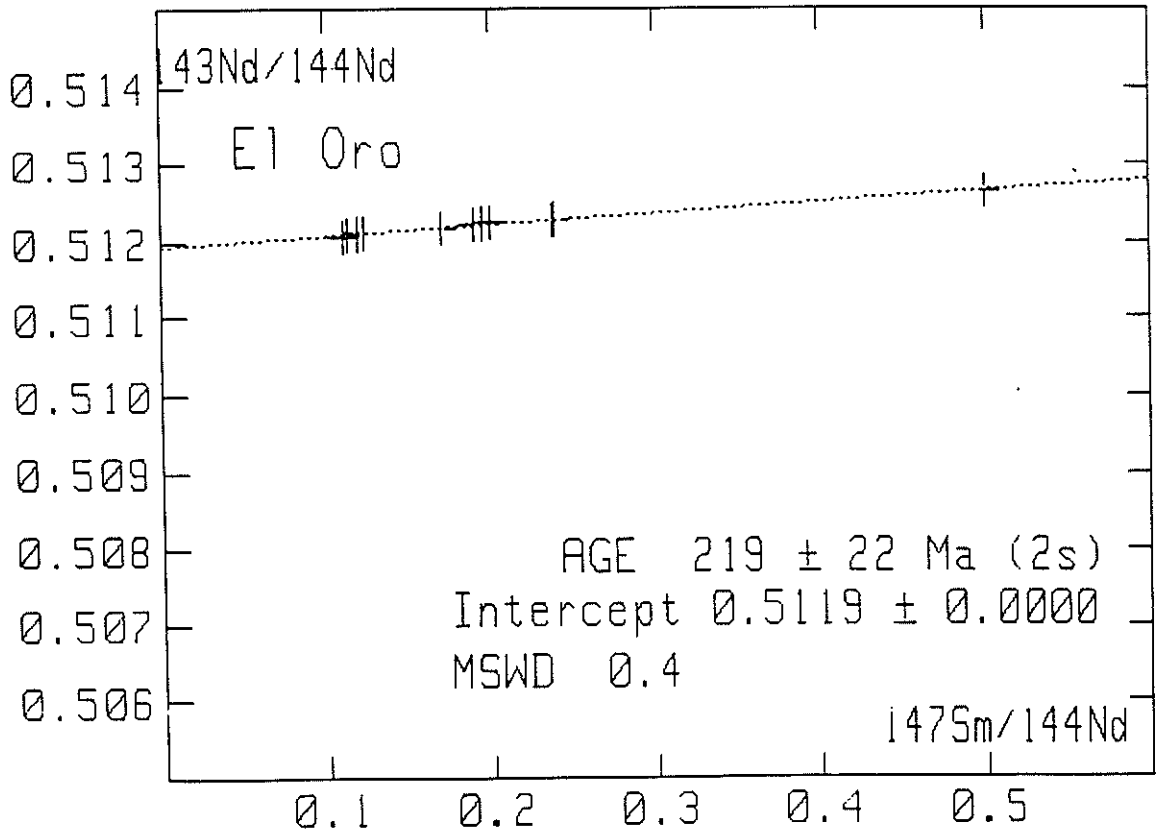


Fig. 4. Rb-Sr isochron diagram for the meta-granitoid suite of samples that outcrop on the road section near the top of the pass between Loja and Valladolid (CR/SH/89- 09 A - J).

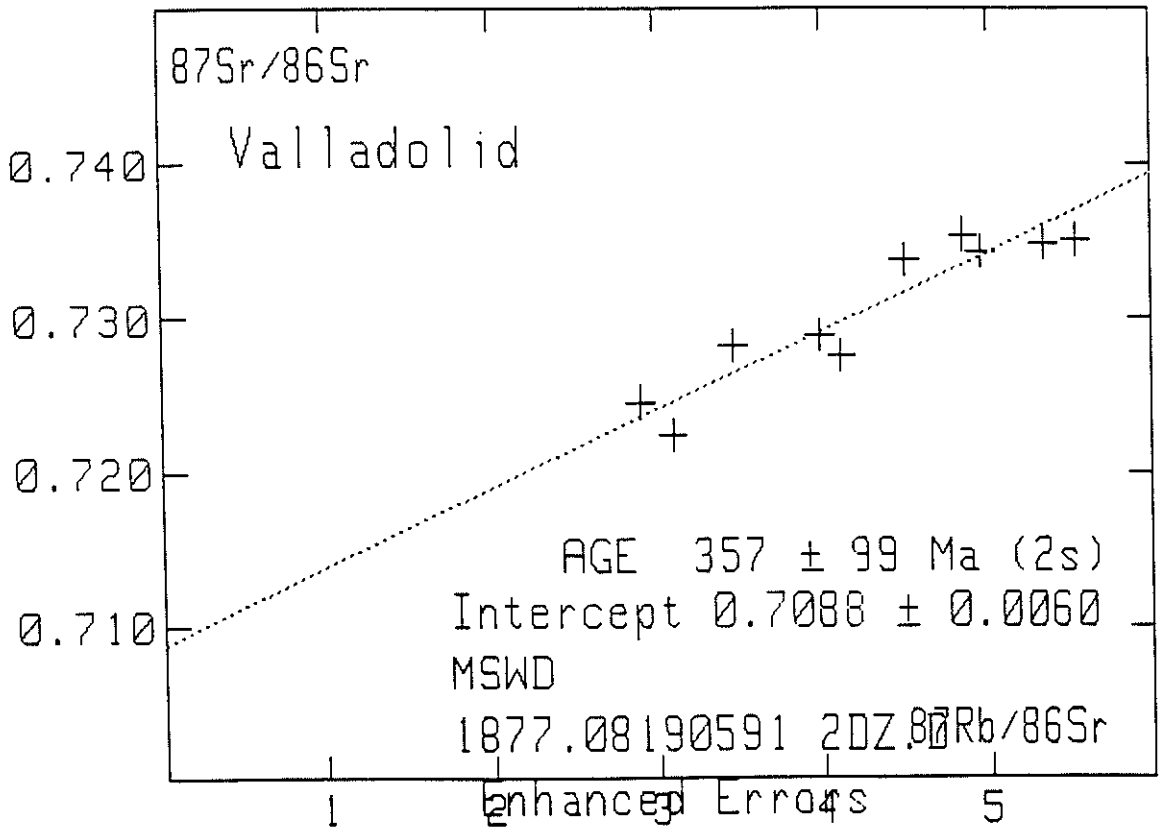


Fig. 5(a). Rb-Sr isochron diagram for the Tres Lagunas granite exposed north of Malacatas (CR/SH/89- 11 A - I).

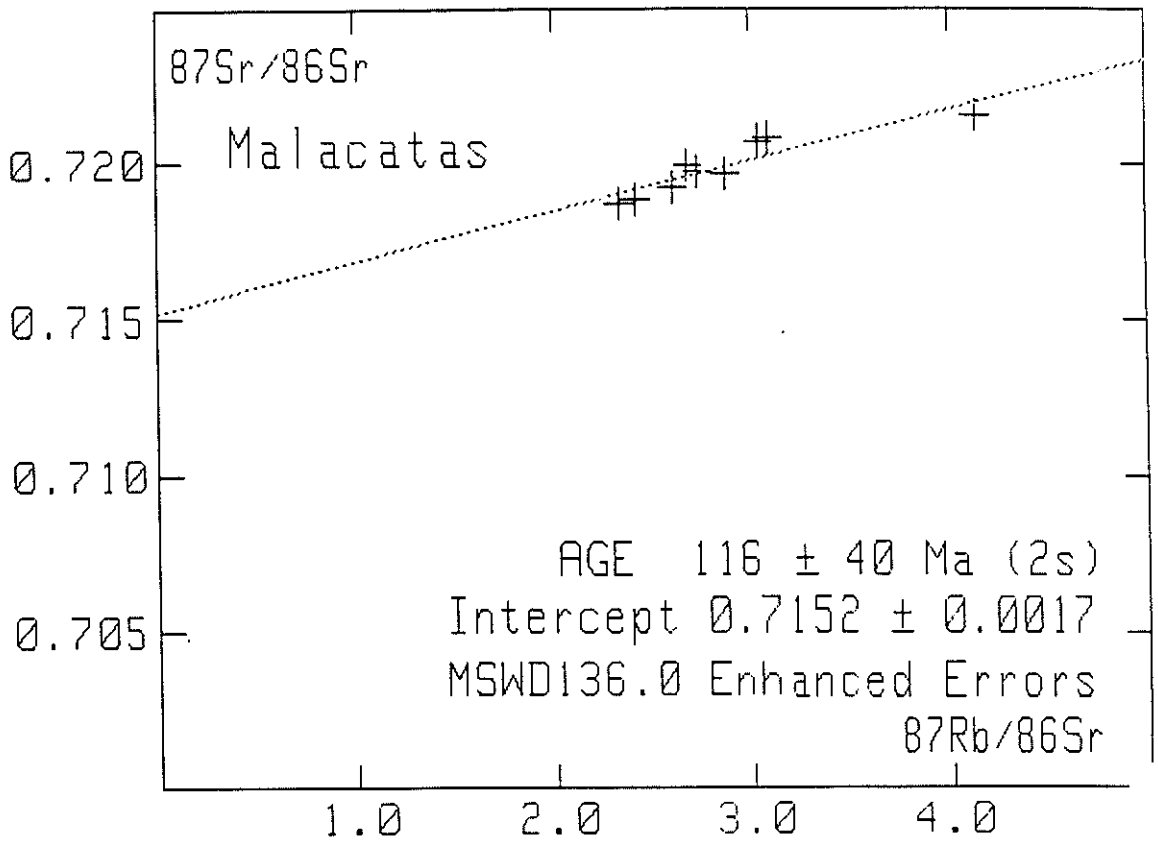


Fig. 5(b). As for Fig. 5(a) but without sample 11-G.

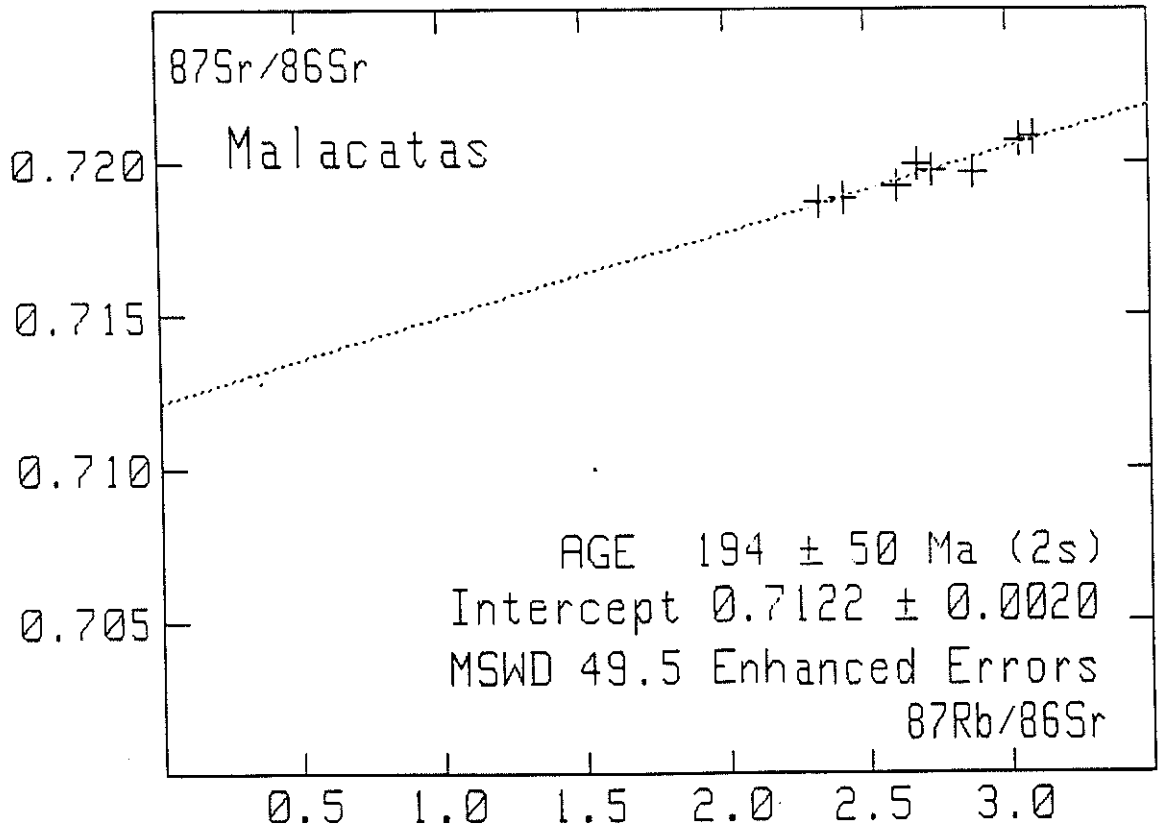


Fig. 6(a). Rb-Sr isochron diagram for the orthogneiss at Sabanilla (CR/SH/89- 12 A - J).

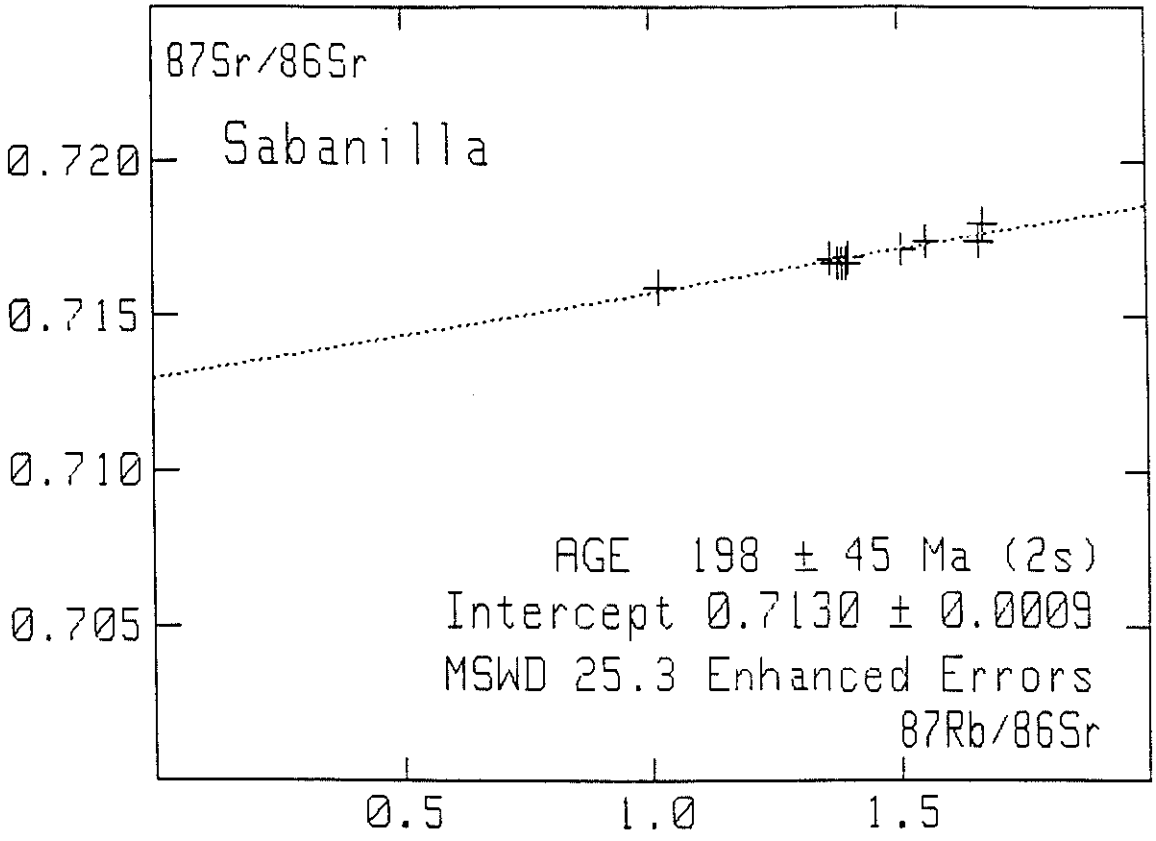


Fig. 6(b). As for Fig. 6(a) but with the data (E/87/23 A - H) from Rundle (1987b) added.

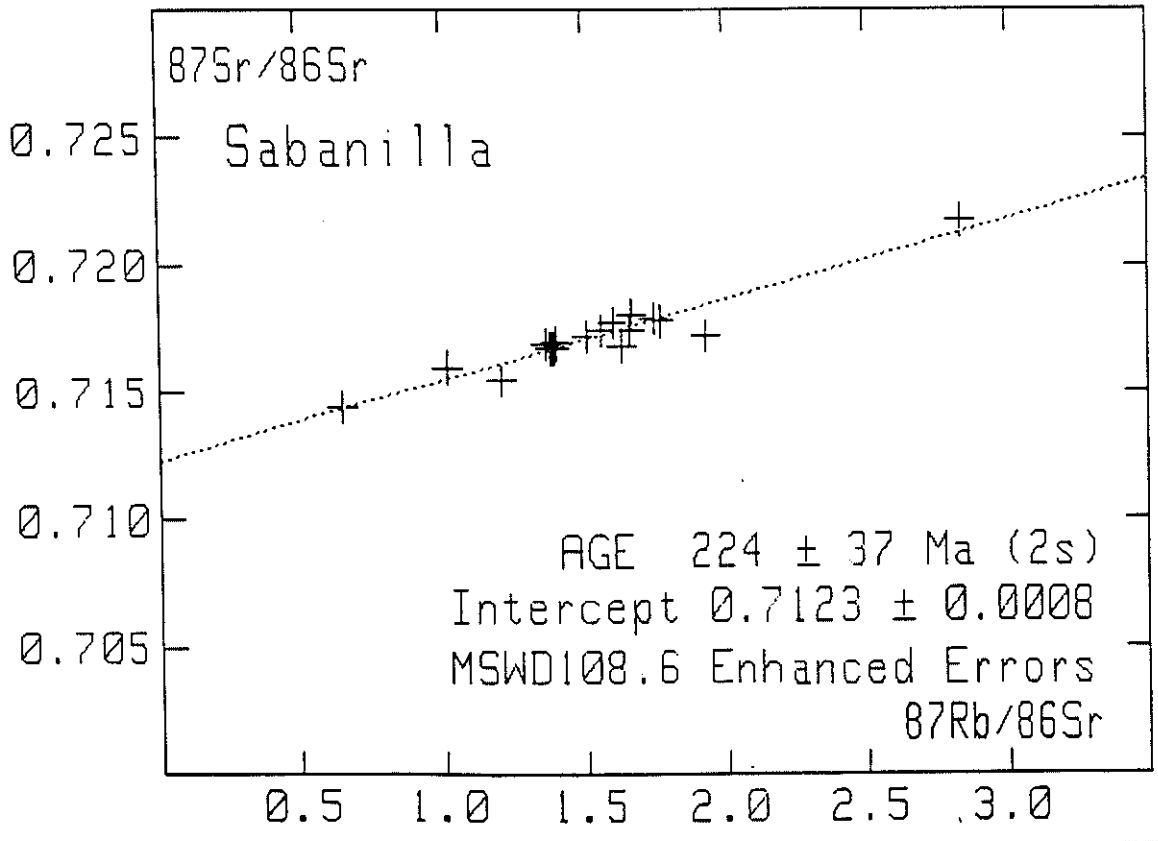


Fig. 7(a). Rb-Sr isochron diagram for the Tres Lagunas granite exposed at Tres Lagunas (CR/SH/89- 14 A - K).

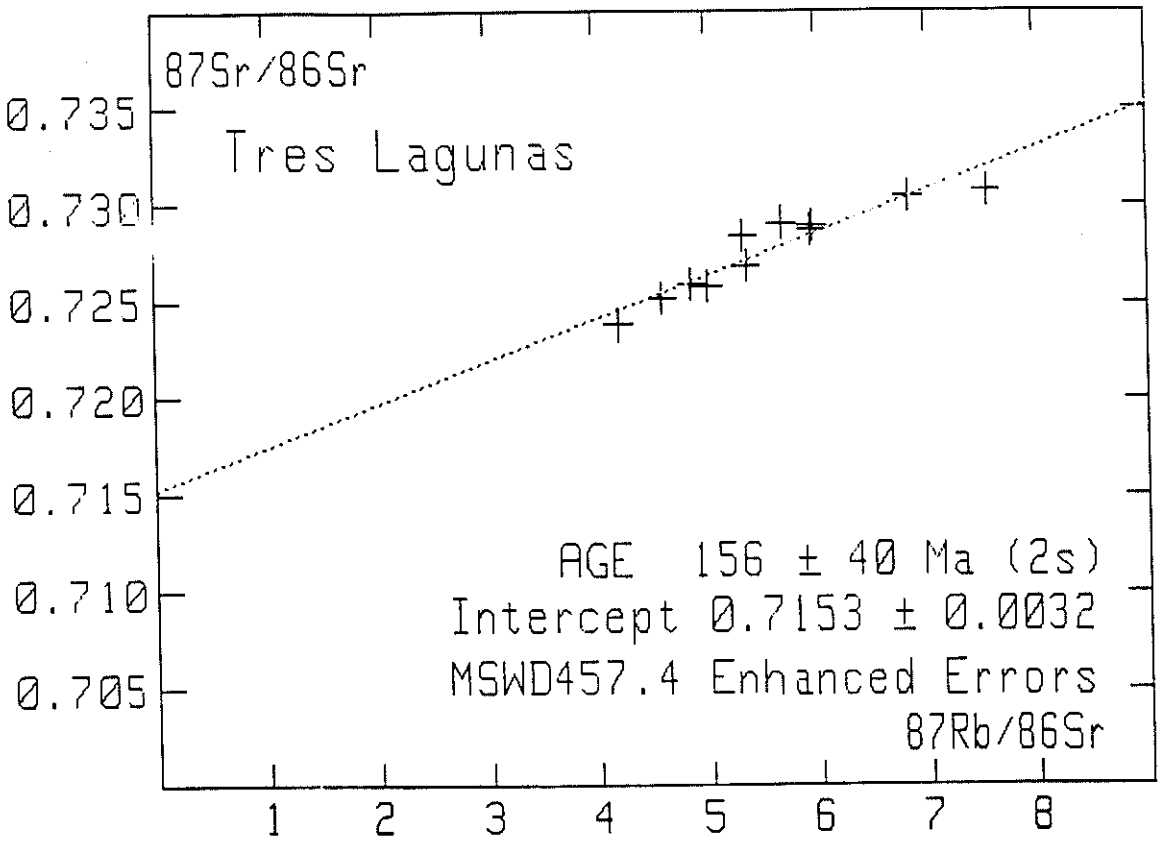


Fig. 7(b). As for Fig. 7(a) but without sample 14-F.

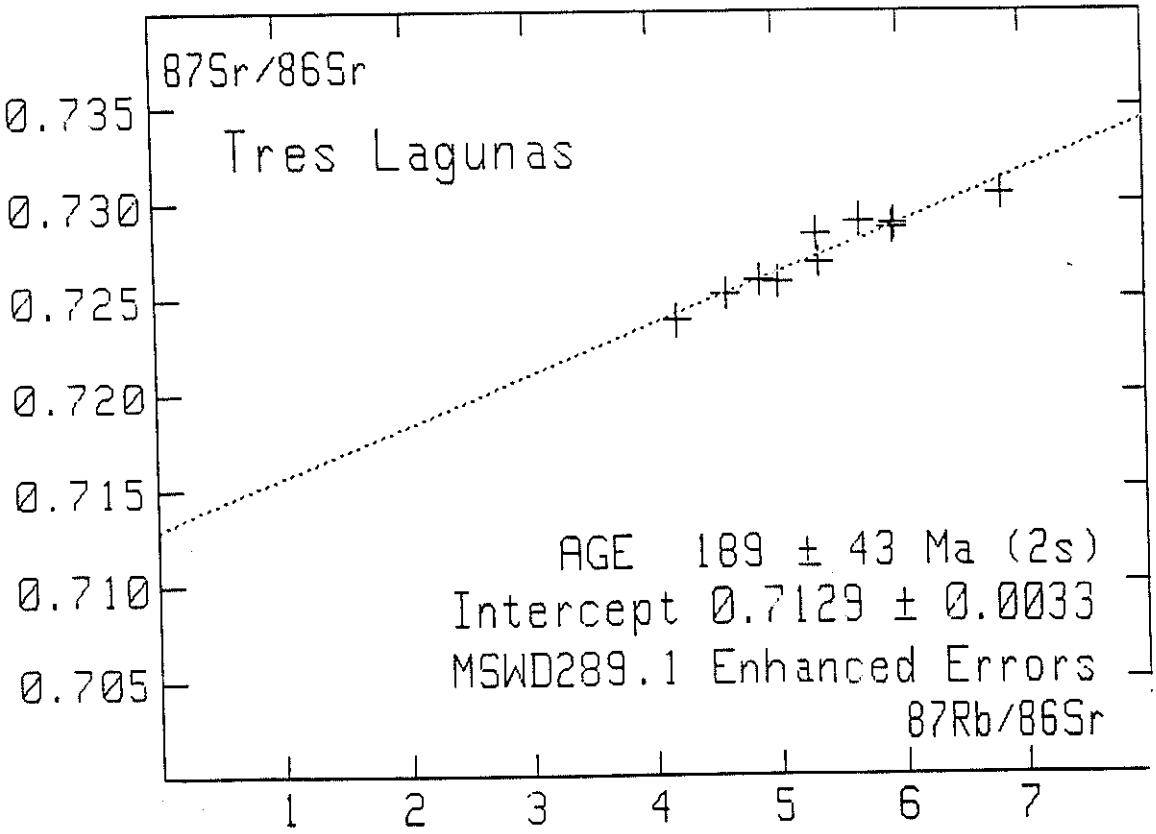


Fig. 7(c). Combined data from Figs. 7(b) and 5(b) combining the TresLagunas granite suites from Tres Lagunas and Malacatas.

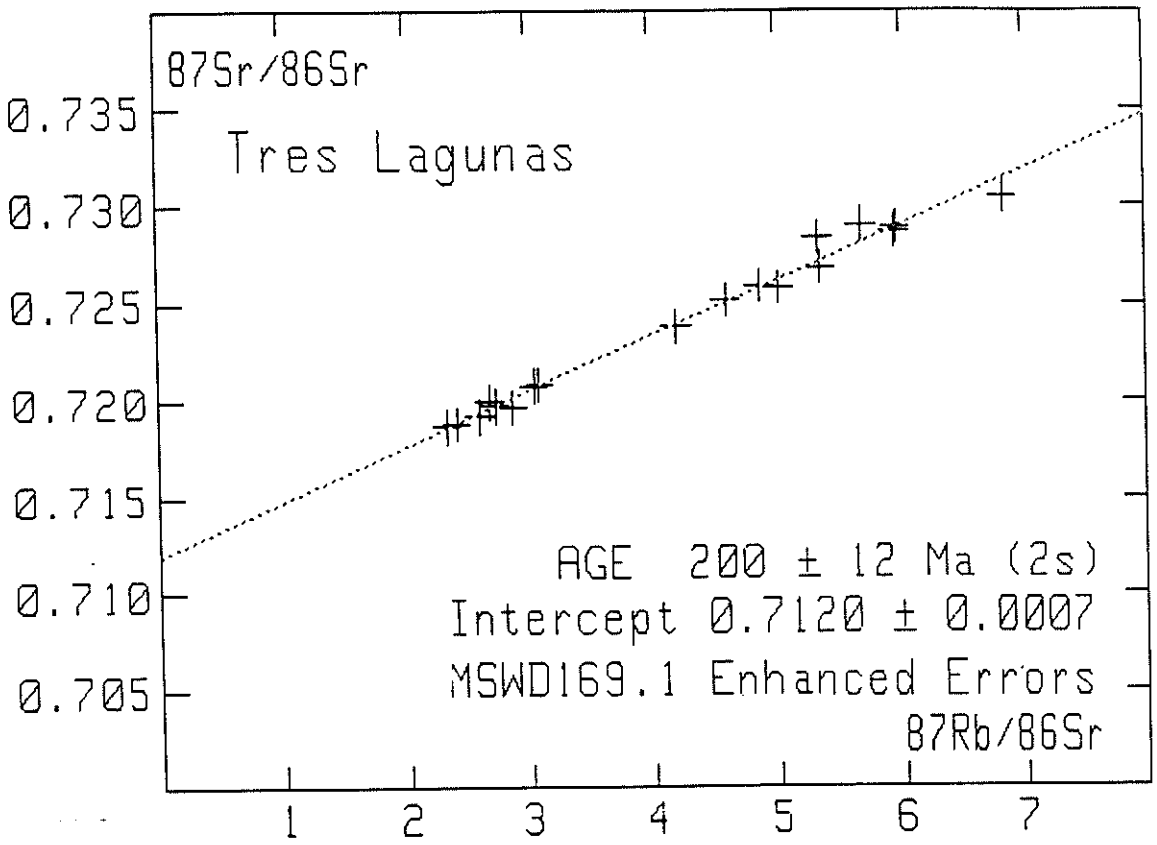
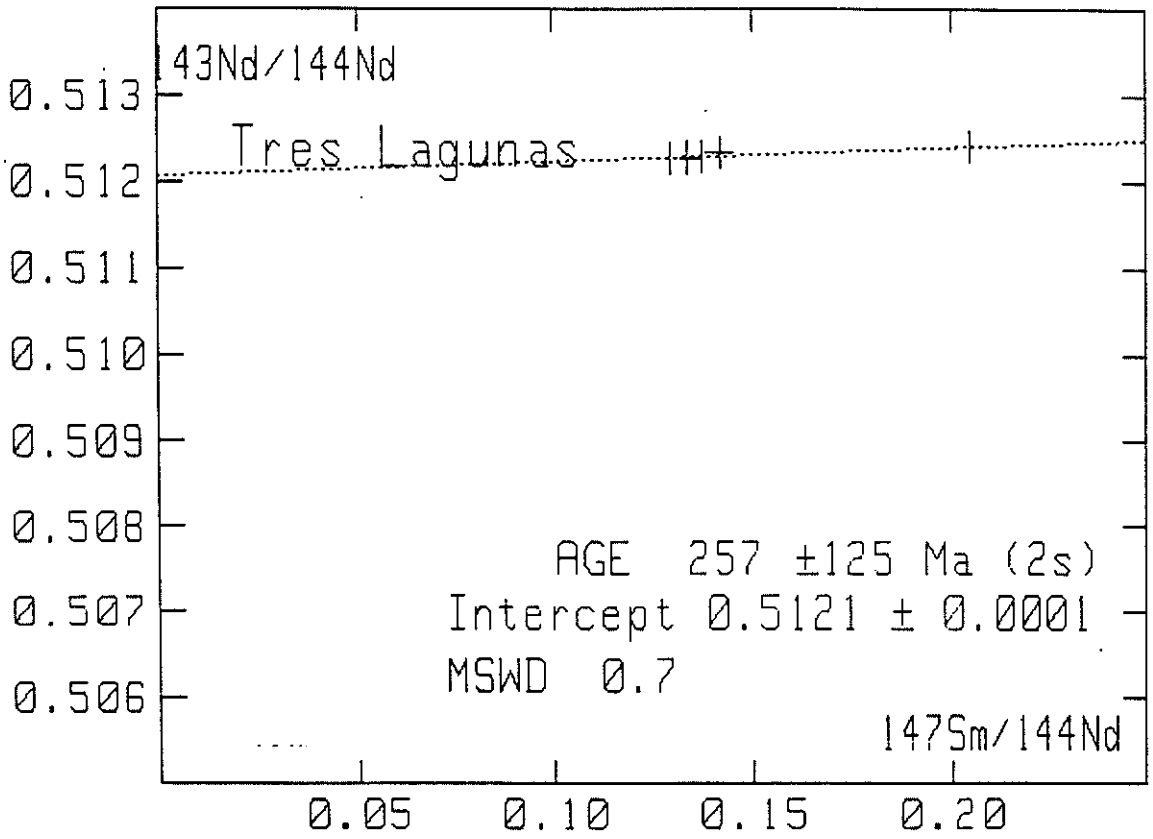


Fig. 8. Sm-Nd isochron diagram for the Tres lagunas granite using garnet separates from samples CR/SH/89- 14 D, E,and F and whole-rock data fron 14- D and F.



Additional K/Ar determinations from the Cordillera Real

by Dr C. C. Rundle / Dr S. Harrison

Sample		% K	% Atm	Rad40± %	Ma±2-sigma	Sample location
RM1	Hb.	o.593	59.3	3.161±1.8	132±5	Río Mayo Batholith, E of Zumba
RM1	Bi.	4.64	15.9	19.29±1.0	104±3	(R. Mayo) (Granodiorite).
485	Hb.	0.481	37.6	3.247±1.2	166±5	Zamora-R. Mayo Batholith, Porvenir
485	Bi.	4.04	52.0	28.73±1.5	174±6	Q. de los derrumbes (Granodiorite).
681	Hb.	0.916	22.5	5.708±1.0	153±5	Zamora-R. Mayo Batholith. La Canela
681	Bi	5.67	23.5	34.53±1.1	150±4	(Granodiorite).
18	WR.	0.305	85.4	0.866±6.1	72±9	Los Planes, E of Zamora, (Andesites).
15	Bi.	7.11	27.9	15.27±1.1	54±4	R. Pichinal. E of Saraguro (Granodiorite).

NB: 15 Bi. was rather inhomogeneous and so there is a 4% error on the K-content which is reflected in the relatively high error on the age, nevertheless this is still significantly younger than any of the others. All other K results have the normal 1% error attached.

Appendix 2c
APENDICE 2c

Appendix 3

APENDICE 3

CHEMICAL ANALYSES OF PLUTONIC AND METAPLUTONIC ROCKS FROM ECUADOR

(MAJOR ELEMENTS, TIO2 AND P2O5 ARE GIVEN AS WEIGHT % , ALL OTHER ELEMENTS AS PPM)

ANALISIS QUIMICO DE ROCAS PLUTONICAS Y METAPLUTONICAS DE ECUADOR

(ELEMENTOS MAYORES, TIO2 Y P2O5 ESTAN INDICADOS COMO PESO % , LOS DEMAS ELEMENTOS COMO PPM)

A B I T A G U A B A T H O L I T H

Sample	CR5A	CR5C	CR5D	CR5F	CR5I	CR6B	CR6E	CR6G	CR6J	CR6K
SiO2	77.65	77.57	73.28	68.64	76.97	65.40	74.71	75.57	75.67	57.30
TiO2	0.06	0.06	0.23	0.35	0.07	0.54	0.14	0.13	0.13	0.61
Al2O3	12.65	12.53	14.12	16.10	12.65	16.41	13.39	12.65	12.86	20.07
Fe2O3	0.47	0.62	0.88	1.25	0.49	1.39	0.81	1.10	0.66	2.08
FeO	0.29	0.28	0.93	1.60	0.33	2.32	0.92	0.65	0.72	3.86
MnO	0.08	0.08	0.05	0.09	0.03	0.09	0.07	0.07	0.05	0.16
MgO	0.00	0.00	0.33	0.75	0.01	1.17	0.17	0.00	0.00	1.79
CaO	0.38	0.39	1.62	3.02	0.62	3.23	0.58	0.47	0.54	5.94
Na2O	3.87	3.80	3.82	4.73	3.95	3.51	3.94	3.77	3.84	4.75
K2O	4.47	4.41	3.69	2.63	4.44	5.08	4.66	5.07	5.09	2.14
P2O5	0.03	0.03	0.09	0.14	0.03	0.19	0.05	0.03	0.03	0.32
LOI	0.32	0.35	0.65	0.89	0.28	0.69	0.61	0.21	0.26	0.83
Total	100.28	100.14	99.69	100.19	99.87	100.03	100.06	99.71	99.86	99.84
Fe2O3T	0.80	0.93	1.91	3.03	0.86	3.97	1.83	1.82	1.46	6.37
Cr	24	23	26	17	26	22	18	39	21	15
Cu	0	0	4	11	3	22	3	23	3	12
Ga	13	14	13	14	11	17	12	10	12	19
Nb	10	10	5	5	8	11	10	16	16	8
Ni	2	2	3	2	2	5	3	142	2	6
Pb	18	18	10	10	20	20	15	40	19	13
Rb	163	161	87	66	154	134	166	236	242	52
Sr	24	27	261	425	55	432	108	16	12	955
Th	17	14	4	3	19	5	16	30	22	0
V	7	0	22	29	1	52	8	7	3	73
Y	18	18	11	12	21	22	28	44	37	19
Zn	23	21	41	40	20	53	32	55	22	84
Zr	71	71	111	141	93	207	140	175	158	159
TiO2	0.06	0.06	0.28	0.39	0.07	0.54	0.15	0.11	0.12	0.68
Ba	144	173	1515	1342	143	1218	407	39	74	1385
La	2	19	10	7	31	27	28	40	42	12
Ce	29	40	10	12	58	38	58	101	80	41
Nd	8	11	5	13	13	22	25	46	26	19
Cl	227	215	204	430	242	373	327	171	467	301
S	80	80	86	79	82	150	126	159	88	104
P2O5	0.03	0.03	0.11	0.16	0.04	0.22	0.06	0.03	0.03	0.40
TiO2	0.07	0.07	0.29	0.41	0.07	0.59	0.17	0.12	0.14	0.73

Z A M O R A B A T H O L I T H

Sample	CR16D	CR16E	CR16F	CR16G	CR16H	CR21A	CR21B	CR21D	CR21F
SiO2	78.50	65.79	67.36	50.60	54.70	65.22	65.09	53.94	64.97
TiO2	0.07	0.43	0.39	1.01	0.68	0.41	0.44	0.63	0.42
Al2O3	12.32	15.26	15.28	19.14	17.41	16.53	16.05	18.59	16.19
Fe2O3	0.53	2.42	2.08	4.66	3.08	2.03	2.03	3.10	1.85
FeO	0.20	2.32	2.05	4.58	4.63	2.14	2.24	4.73	2.18
MnO	0.04	0.11	0.10	0.13	0.13	0.09	0.08	0.20	0.12
MgO	0.00	1.69	1.39	4.00	4.90	1.52	1.57	3.93	1.76
CaO	0.35	4.23	4.07	9.20	8.09	4.82	4.24	7.07	2.71
Na2O	5.31	4.07	3.99	3.82	3.37	3.78	3.88	4.24	4.08
K2O	2.49	1.81	1.95	0.56	0.96	2.18	2.44	1.54	3.12
P2O5	0.07	0.10	0.10	0.11	0.12	0.15	0.14	0.20	0.13
LOI	0.27	1.34	1.34	1.94	2.02	1.14	1.47	1.86	2.28
Total	100.15	99.55	100.09	99.74	100.08	99.99	99.68	100.02	99.82
Fe2O3T	0.76	5.00	4.36	9.75	8.22	4.41	4.52	8.35	4.27
Cr	21	16	13	15	36	31	17	14	16
Cu	3	23	20	31	35	6	5	14	6
Ga	11	14	14	18	17	15	16	21	14
Nb	8	5	5	4	5	6	6	7	7
Ni	4	6	5	12	27	7	6	12	6
Pb	7	6	5	9	5	7	6	10	13
Rb	85	46	51	13	24	66	70	63	98
Sr	48	250	242	374	270	392	368	431	339
Th	38	6	6	2	0	6	8	0	7
V	9	105	88	326	211	64	91	169	76
Y	19	19	17	16	24	17	16	29	18
Zn	9	30	33	36	46	29	32	59	51
Zr	136	89	99	40	71	92	93	91	90
TiO2	0.07	0.46	0.41	0.91	0.74	0.42	0.48	0.65	0.43
Ba	118	781	722	173	307	583	8.42	595	1133
La	25	7	4	3	3	10	6	0	7
Ce	41	11	23	11	16	16	6	3	14
Nd	9	16	26	11	17	8	11	9	11
Cl	391	607	552	699	560	354	420	425	366
S	85	88	87	385	217	93	99	126	125
P2O5	0.03	0.12	0.11	0.13	0.15	0.17	0.17	0.23	0.15
TiO2	0.08	0.49	0.45	0.96	0.79	0.46	0.51	0.71	0.48

	AZAFRAN BATHOLITH						SABANILLA METAPLUTON			
Sample	CR8A	CR8B	CR8D	CR8E	CR8F	CR8H	CR23A	CR23B	CR23C	CR23H
SiO2	76.04	76.37	76.52	76.33	76.20	75.88	71.32	71.42	78.34	73.21
TiO2	0.12	0.13	0.12	0.11	0.11	0.08	0.74	0.71	0.54	0.50
Al2O3	13.09	13.02	12.87	13.00	12.97	13.16	12.93	13.15	10.09	13.22
Fe2O3	0.67	0.43	0.56	0.54	0.52	0.62	0.53	0.16	0.32	0.57
FeO	0.47	0.53	0.47	0.53	0.53	0.44	3.70	3.78	2.13	2.94
MnO	0.09	0.08	0.08	0.10	0.10	0.11	0.06	0.06	0.07	0.10
MgO	0.06	0.08	0.10	0.07	0.03	0.03	1.93	1.75	1.09	1.36
CaO	0.83	0.82	0.52	0.75	0.73	0.54	2.23	2.38	3.74	1.47
Na2O	3.93	3.85	4.02	3.96	3.96	4.34	2.24	2.40	1.44	2.30
K2O	4.36	4.46	4.31	4.42	4.42	4.29	3.03	2.63	1.11	3.14
P2O5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.17	0.20	0.16	0.16
LOI	0.42	0.41	0.42	0.39	0.40	0.32	1.05	1.10	0.74	1.03
Total	100.12	100.23	100.01	100.24	99.99	99.83	99.92	99.74	99.76	100.00
Fe2O3T	1.19	1.01	1.08	1.13	1.11	1.11	4.64	4.36	2.69	3.83
Cr	17	23	18	25	22	27	58	59	47	64
Cu	0	2	0	0	1	1	11	12	19	19
Ga	13	13	11	13	12	12	15	16	11	15
Nb	12	14	13	12	17	14	14	14	10	11
Ni	2	3	2	2	3	1	24	23	15	19
Pb	13	13	14	11	11	18	20	15	7	19
Rb	103	130	110	112	114	109	125	112	46	125
Sr	90	78	80	78	74	63	206	201	205	127
Th	9	13	11	11	15	11	9	9	8	7
V	10	14	1	7	0	4	103	91	49	78
Y	13	14	14	15	19	18	29	25	23	23
Zn	32	25	24	23	22	27	73	71	42	65
Zr	95	81	79	91	98	99	258	232	295	183
TiO2	0.14	0.12	0.13	0.12	0.11	0.08	0.85	0.80	0.59	0.56
Ba	747	457	571	675	638	746	589	479	236	651
La	5	1	5	16	8	11	20	23	12	9
Ce	8	7	18	29	12	21	51	42	47	33
Nd	5	7	13	15	9	8	19	24	32	22
Cl	202	147	206	233	221	232	129	122	92	93
S	82	88	80	84	85	82	133	146	252	353
P2O5	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.18	0.21	0.18	0.16
TiO2	0.14	0.13	0.14	0.13	0.12	0.09	0.91	0.88	0.64	0.60

	MARCABELLI PLUTON (EL ORO)					VALLADOLID METAPLUTON			TAMPANCHI MAFIC COMPLEX	
Samples	SH4A	SH4C	SH4E	SH4I	SH9B	SH9E	SH9I	SH9J	383A	387C
SiO2	72.04	71.87	72.73	71.98	74.20	73.77	73.09	72.47	57.02	44.53
TiO2	0.49	0.45	0.54	0.34	0.51	0.53	0.48	0.51	1.21	0.93
Al2O3	14.17	14.37	13.60	14.67	12.93	13.71	13.41	14.17	14.73	16.91
Fe2O3	0.28	0.37	0.35	0.44	0.89	0.77	0.48	0.61	4.42	2.88
FeO	2.63	2.50	2.91	1.92	2.95	2.89	2.96	3.23	6.86	6.88
MnO	0.07	0.07	0.07	0.06	0.08	0.05	0.10	0.06	0.19	0.19
MgO	0.99	1.02	1.10	1.10	1.34	1.04	1.27	1.15	3.31	9.50
CaO	1.82	2.15	1.94	2.23	0.59	0.54	1.23	1.04	9.08	13.52
Na2O	3.14	3.37	2.94	3.74	1.75	1.45	2.51	2.02	1.29	2.05
K2O	3.04	2.63	2.93	2.76	3.22	3.15	3.28	3.28	0.16	0.85
P2O5	0.16	0.16	0.12	0.11	0.14	0.16	0.17	0.18	0.14	0.34
LOI	0.92	0.96	0.84	0.79	1.44	1.92	1.04	1.47	1.28	1.63
Total	99.76	99.93	100.07	100.15	100.05	99.99	99.97	100.19	99.68	100.20
Fe2O3T	3.20	3.15	3.58	2.57	4.17	3.98	3.77	4.20	12.04	10.53
Cr	37	31	32	25	84	87	104	77	1	329
Cu	17	6	6	9	13	10	18	13	124	90
Ga	13	15	15	14	15	18	17	18	17	17
Nb	8	9	10	7	10	11	10	12	5	7
Ni	12	9	12	12	197	174	207	150	15	78
Pb	18	16	17	15	25	20	23	31	15	22
Rb	132	123	132	118	141	143	131	139	0	3
Sr	123	123	104	104	76	86	134	118	169	542
Th	7	7	10	7	7	9	9	10	4	1
V	46	44	57	40	84	80	77	87	305	302
Y	27	23	25	25	21	23	22	26	29	23
Zn	55	54	58	42	66	74	76	67	75	116
Zr	166	167	188	119	135	191	160	157	64	66
TiO2	0.55	0.52	0.62	0.35	0.61	0.71	0.62	0.61	1.17	0.91
Ba	492	276	385	444	1007	532	733	582	245	261
La	9	9	12	4	9	3	15	12	0	5
Ce	41	34	43	42	29	21	26	42	15	42
Nd	27	10	11	21	25	14	16	23	17	25
Cl	121	145	130	177	207	181	199	114	104	146
S	352	131	91	97	93	95	299	369	283	270
P2O5	0.16	0.17	0.12	0.11	0.17	0.21	0.17	0.19	0.18	0.43
TiO2	0.58	0.57	0.66	0.38	0.67	0.77	0.67	0.66	1.24	0.97

TRES LAGUNAS SUITE

EAST OF SARAGURO - TRES LAGUNAS AREA

Sample	SH14A	SH14B	SH14D	SH14G	SH14H	SH14I	SH14J	SH14K
SiO2	71.88	70.89	72.74	73.16	71.40	71.18	71.95	68.49
TiO2	0.55	0.55	0.53	0.45	0.52	0.53	0.54	0.99
Al2O3	13.55	14.28	13.30	13.44	13.87	13.68	13.62	14.24
Fe2O3	0.76	0.91	0.45	0.50	0.74	0.79	0.89	1.89
FeO	2.57	2.38	2.62	2.20	2.53	2.48	2.29	2.74
MnO	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.09
MgO	1.03	1.04	0.96	0.79	1.01	1.04	1.04	1.25
CaO	1.65	1.73	1.47	1.41	1.54	1.59	1.58	2.84
Na2O	2.53	2.85	2.49	2.55	2.66	2.49	2.50	3.56
K2O	4.05	4.17	4.44	4.53	4.17	4.33	4.51	2.53
P2O5	0.18	0.18	0.19	0.19	0.20	0.19	0.19	0.28
LOI	1.23	1.17	0.96	1.01	1.23	1.20	1.09	1.06
Total	100.06	100.21	100.21	100.30	99.94	99.56	100.27	99.96
Fe2O3T	3.62	3.55	3.36	2.95	3.55	3.55	3.43	4.93
Cr	35	33	37	32	37	34	32	65
Cu	14	10	12	10	12	12	16	8
Ga	16	14	14	15	18	15	15	19
Nb	13	13	12	10	13	12	12	16
Ni	13	14	11	12	15	12	13	208
Pb	21	24	27	26	23	26	28	23
Rb	196	181	189	192	206	181	176	151
Sr	95	109	104	98	86	105	111	104
Th	15	13	12	10	14	16	16	22
V	57	57	57	52	59	46	54	89
Y	41	40	40	34	40	38	38	62
Zn	63	61	52	52	71	62	57	85
Zr	185	169	177	155	179	178	184	343
TiO2	0.58	0.57	0.56	0.47	0.58	0.59	0.57	1.02
Ba	535	775	659	756	481	809	874	259
La	12	18	18	15	15	12	21	31
Ce	64	58	56	38	54	59	49	105
Nd	30	30	30	18	29	29	25	47
Cl	145	118	113	166	150	132	141	130
S	351	353	316	223	407	366	388	363
P2O5	0.19	0.19	0.20	0.19	0.20	0.20	0.20	0.29
TiO2	0.62	0.61	0.60	0.51	0.63	0.62	0.62	1.10

TRES LAGUNAS SUITE

	MALACATOS AREA						PEGGY MINE - SIGSIG AREA			
Sample	SH11A	SH11C	SH11D	SH11E	SH11F	SH11H	SH16A	SH16B	SH16C	SH16D
SiO2	70.20	70.52	69.85	69.97	68.51	70.01	71.01	70.99	71.38	71.09
TiO2	0.71	0.68	0.72	0.64	0.75	0.71	0.55	0.55	0.58	0.59
Al2O3	13.67	13.64	13.53	13.98	14.10	13.87	13.67	13.73	13.47	13.56
Fe2O3	0.95	0.72	0.86	0.72	0.99	0.78	0.65	0.82	0.90	0.86
FeO	3.52	3.59	3.73	3.39	3.80	3.69	2.58	2.52	2.60	2.70
MnO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.11	0.09	0.09	0.10
MgO	1.65	1.57	1.73	1.52	1.83	1.70	1.15	1.13	1.24	1.20
CaO	1.96	1.87	1.95	1.89	2.26	1.51	1.82	1.85	1.63	1.82
Na2O	2.46	2.44	2.33	2.71	2.42	2.39	2.45	2.59	2.46	2.59
K2O	3.18	3.25	3.14	3.19	3.28	3.44	4.21	3.82	3.92	3.56
P2O5	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17
LOI	1.54	1.55	1.59	1.51	1.60	1.64	1.32	1.58	1.46	1.52
Total	100.11	100.10	99.70	99.77	99.81	100.03	99.68	99.84	99.88	99.75
Fe2O3T	4.86	4.71	5.01	4.49	5.21	4.88	3.52	3.62	3.79	3.86
Cr	107	95	101	89	99	92	39	35	39	38
Cu	23	29	24	16	23	19	13	13	13	13
Ga	20	17	17	16	17	19	14	15	16	16
Nb	11	12	11	11	13	12	11	12	12	12
Ni	212	217	199	206	210	180	13	12	13	15
Pb	22	20	22	23	18	37	45	33	25	22
Rb	128	132	121	129	134	138	150	158	171	153
Sr	146	136	147	139	171	133	132	114	115	106
Th	14	12	13	11	11	13	12	13	13	14
V	100	101	94	97	107	105	65	55	64	70
Y	33	32	34	29	31	30	32	35	34	38
Zn	78	81	77	69	81	148	51	60	58	59
Zr	193	197	200	168	210	197	178	175	181	188
TiO2	0.88	0.80	0.88	0.74	0.87	0.84	0.57	0.56	0.57	0.62
Ba	818	818	861	781	844	982	1024	660	723	641
La	29	29	29	23	20	23	21	15	15	18
Ce	54	52	58	54	66	60	35	73	57	44
Nd	23	30	19	28	35	33	12	47	37	25
Cl	104	104	92	93	104	95	133	163	101	157
S	884	744	1275	1211	481	811	298	306	443	279
P2O5	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.20	0.15	0.17	0.15	0.17
TiO2	0.94	0.87	0.95	0.80	0.94	0.91	0.61	0.60	0.62	0.67

APPENDIX 4a - 4b

PETROGRAPHIC STUDIES

APENDICE 4a - 4b

ESTUDIOS PETROGRAFICOS

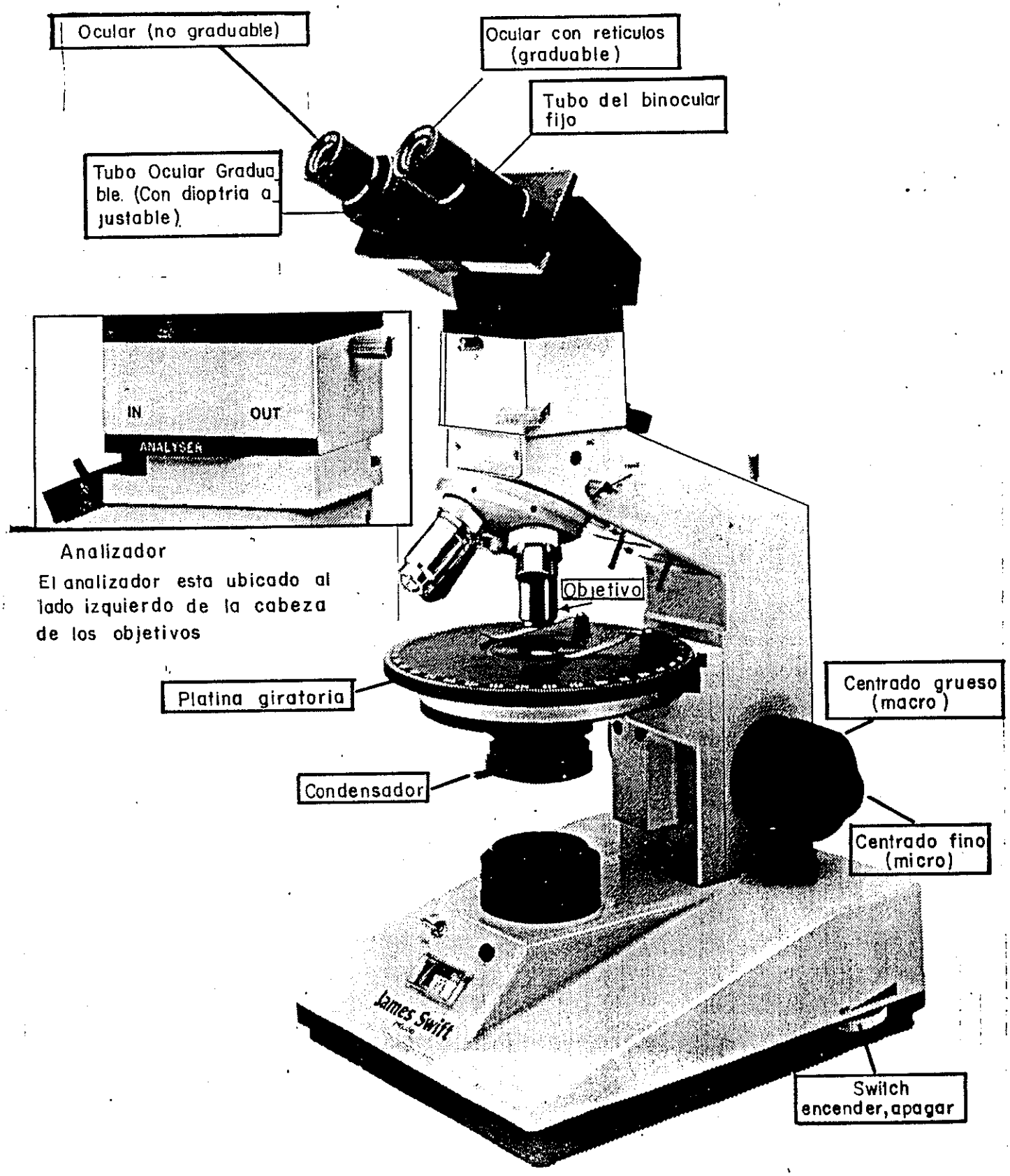
Appendix 4a
APENDICE 4a

PETROGRAFIA DE ROCAS DEL PROYECTO CORDILLERA REAL

FEBRERO-MARZO- 1990

MISION BRITANICA — INEMIN

MICROSCOPIO POLARIZANTE



Analizador

El analizador esta ubicado al lado izquierdo de la cabeza de los objetivos

PETROGRAFIA DE ROCAS DEL PROYECTO CORDILLERA REAL

Introducción

El objetivo de este curso es aprender a identificar las rocas de la Cordillera Real, usando secciones delgadas. Usted aprenderá mirando una colección de láminas delgadas con un microscopio; la experiencia es el mejor entrenamiento Trataré de que la teoría sea lo más corta posible para que usted se concentre en la experiencia directa de las rocas del terreno de la Cordillera Real. Además la Cordillera Real contiene muchas rocas especiales, así éstas no pueden ser usadas para un entrenamiento general en petrología. Las láminas delgadas que usaremos, no son de la mejor calidad, pero estas son el tipo de láminas delgadas que un petrógrafo tiene que usar en la práctica.

Cuando usted mira una lámina delgada usted siempre debe estudiar ambos, el mineral y la textura. Algunas veces la textura es la característica más importante porque indica como una roca esta formada (ejemplo plutónica, volcánica, metamórfica, sedimentaria, etc.)

Hay cinco temas de secciones delgadas con muestras de mano. Estas serán:

(1) Serpentinitas y rocas ultramáficas.
(2) Rocas graníticas y gneises graníticos.
(3) Rocas metavolcánicas.
(4) Rocas metasedimentarias.
(5) Rocas de skarn.

Debido a que el Proyecto Cordillera Real ha sido una investigación de rocas mas viejas de este terreno, no hay ejemplos de rocas más jóvenes, de rocas volcánicas no metamorfoseadas.

El microscopio

En este curso examinaremos láminas delgadas usando un microscopio polarizante. En este, la luz va a través del polarisador (una hoja de plástico polarisado) antes de alcanzar a la lámina delgada. Esto hace que todas las luces vibren en la misma dirección. Además en algunos trabajos, insertaremos un segundo polarizador entre los lentes y los oculares Este es llamado el analizador, y esta regulado para que solo pase la luz que esta vibrando a 90 grados a la luz pasada a través del primer polarizador. Con estos arreglos observaremos el efecto óptico llamado interferencia de colores y la posición en la cual el mineral desaparece llamada extinción. Con el analizador afuera, podemos mirar el color, pleocroismo, forma, relieve y clivaje de los minerales. Con el analizador adentro vemos en birefringencia, macla y orientación de los minerales. Con esta información podemos identificar los minerales en las rocas y además estudiar la textura de las rocas. Con esta información podemos identificar las rocas y entender su historia.

Color

Muchos minerales son incoloros en láminas delgadas. Otros son verdes, café, azul y aún amarillos. Algunos colores son muy característicos.

Pleocroismo

Algunos minerales cambian de color cuando son rotados en la platina con el analizador afuera. Esto se debe a la forma que ellos actúan con luz polarizada. Esto es muy característico de ciertos minerales, y es llamado pleocroismo.

Forma

Algunos minerales ocurren con frecuencia como cristales de formas características. Los ejemplos incluyen las micas (láminas), feldespatos (tabletas) y piroxenos (prismas).

Relieve

Los minerales refractan la luz resplandecida a través de ellos, y ésta puede ser medida midiendo el índice de refracción. No vamos a hacer esto, pero vamos a creer en el índice de refracción porque mientras más alto sea el índice la forma de los minerales parece sobresalir de la lámina delgada. Además, podemos decir si un grano mineral tiene un índice de retracción más alto que el próximo, ello se puede determinar por la línea de Becke ('el test Becke').

Clivaje

Los cristales de muchos minerales tienen conjuntos de planos de debilidad llamados planos de clivaje. Estos siempre tienen una relación geométrica con la forma de los cristales que podemos ver con el microscopio.

Birrefringencia

Con el analizador adentro podemos ver los colores brillantes llamados colores de interferencia producidos por la birrefringencia, una propiedad causada por la refracción complicada y la polarización de la luz que tiene lugar cuando la luz pasa a través de la lámina delgada. Algunos minerales proporcionan colores de interferencia más fuerte (altos) que otros, y la potencia puede ser juzgada refiriéndomos a la carta de interferencia de colores. Los colores bajos son vistos como sombras grises y blancos, colores más fuertes son vistos como colores espectrales.

Maclas

Cristales de algunos minerales, especialmente los feldespatos, contienen planos (maclas planos) en los cuales la estructura atómica del cristal cambia su orientación. Con el analizador adentro esta propiedad produce un patrón aberrante de interferencia de colores.

Orientación

Con el analizador adentro podemos mirar la orientacón óptica de los minerales. Esto tiene dos características. Primero, miramos a la orientación de los cristales cuando ellos están en extinción (no interferencia de color). En algunos la dirección es paralela al eje de las láminas o prismas (extinción paralela) pero en otros produce un ángulo característico (extinción oblicua). En el segundo, tenemos un cristal alineado NNO-SE en la platina del microscopio entonces insertamos la platina de 'tint' para ver si el color de interferencia es fuerte o débil. Esto nos permite trabajar si el cristal tiene elongación positiva o elongación negativa.

También en el nivel más avanzado podemos utilizar el lente objetivo más fuerte y el lente conoscópico de la subplatina para trabajar con las figuras de interferencia si el mineral es biaxial o uniaxial, el signo óptico y su ángulo optico-axial. Esto no es fácil, y nosotros probablemente no tenemos tiempo para trabajar con estos en este curso.

La lámina delgada

La sección delgada es un corte de roca que debe ser de 30 micrones (0.03 mm) de espesor. En realidad, hacer láminas delgadas es un arte, y ellas no son nunca perfectas. El petrográfo debe reconocer las láminas malas, para evitar confusiones.

Fallas comunes incluyen:-

(1) secciones que son demasiado delgadas o gruesas.
(2) secciones variando el espesor.
(3) burbujas de polvo o aire en la resina transparente usada para fijar la lámina en el vidrio
(4) huecos en la lámina donde una pieza de roca ha sido arrancada de una roca delgada cortada.

La mayoría de las secciones delgadas usadas en este curso tienen algunos de estos problemas.

Notas del curso

En las notas siguientes, cada una de los cinco conjuntos de rocas es presentado, y una descripción corta es dada de cada especimen. Las notas descriptivas son presentadas en cuatro partes:

(a) Número y localización de la muestra;
(b) nombre de la muestra;
(c) lista de minerales;
(d) información adicional.

1 Serpentinitas y otras rocas ultramáficas

Introduccion

Tres grupos de rocas están representadas por estas secciones delgadas. Las serpentinitas de Soledad y Urcucocha ocurren como fajas delgadas de afloramientos relacionados a corrimientos mayores. Las rocas de Peltetec vienen de la faja de afloramiento de la melange ofiolítica que es el sitio de sutura de una mayor subducción dentro de la Cordillera Real. En contraste, el complejo Tampanchi es al momento interpretado como un complejo ultramáfico de intrusión del tipo Alaska. Economicamente las rocas de estos tipos deberían ser vistos como posibles sitios de enriquecimiento en Cr, Ni, Au y PGM (grupo de metales de platino: Pt, Ir, Os, Rh etc).

1. a RB 140 A — Soledad
   b Serpentinita
   c Antigorita, talco, cromita, magnetita
   d Masiva, grano fino, no deformado.

2. a RB 353 F — Urcucocha
   b Serpentinita con venas magnesíticas
   c Antigorita, magnesita, talco, cromita, magnetita
   d Serpentinita masiva, magnesita y venas de talco.

3. a RB 353 H — Urcucocha
   b Roca tremolita
   c Tremolita, antigorita
   d Malla de tremolita áspera con antigorita intersticial.

4. a RB 59 C — Area de Peltetec
   b Feldespato - peridotita
   c Augita, antigorita, feldespato alterado, magnetita
   d no deformado; olivino alterado y feldespato alterado.

5. a RB 59 E — Area de Peltetec
   b Olivino - gabro alterado
   c Augita, clorita, tremolita, hornblenda, feldespato alterado, cuarzo
   d Amlost no deformado; fuertemente alterado con relictos de augita.

6. a RB 225 I — Area de Peltetec
   b Gabro alterado
   c Plagioclasa, calcita, muscovita, albita, cuarzo
   d no deformado; augita ha sido remplazada por carbonato y venas de albita.

7. a HP 374 — Tampanchi
   b Olivino - piroxenita
   c Augita, olivino, hornblenda, magnetita, serpentinita,talco
   d No deformado; no alterado excepto por meteorización parcial de olivino a mezcla de talco-serpentina; hornblenda está remplazando a augita.

8. a RB 247 II Tampanchi
b Olivino - piroxenita
c Augita, hornblenda, olivino, alterado, magnetita
d No deformada; olivino, alterado a material rojo; hornblenda está remplazando a olivino.

9. a R I 247 II Tampanchi
b Plagioclasa - hornblendita
c Hornblenda, plagioclasa, epidota, muscovita, albita
d No deformada; plagioclasa ha sido parcialmente alterada; roca pegmatoide.

10. a R I 247 F Tampanchi
b Plagioclasa - hornblendita
c Hornblenda, epidota, muscovita, albita, cuarzo.
d No deformada; pegmatita; toda la plagioclasa primaria ha sido completamente meteorizada.

11. a MP 370 Tampanchi
b Hornblenda - basalto
c Hornblenda, plagioclasa.
d No deformada; grano-fino; hornblenda fenocristales incluyendo algunos con forma de relictos de augita.

Rocas graníticas

Numerosos cuerpos de rocas graníticas son encontrados en la Cordillera Real. Los estudios de las proporciones relativas de cuarzo, K-feldespato y plagioclasa feldespato indica que la mayoría son monzonitas, tonalitas y dioritas.

La textura del rango va de magmatica a metamórfica y milonítica. La mayoría de las rocas son de tipo-I (derivadas por la fundición del manto superior). Otros, el conjunto de granito Tres Lagunas, son de tipo-S (derivados de la fundición de la corteza inferior durante las colisiones de la placa continente-continente). Los granitos de tipo-I están asociados con skarn, pórfido (Cu, Mo, Au) y tipos epitermales (Au) de depósitos minerales. Los tipos-S están asociados con depósitos de Estaño, Tungsteno, Niobio, Litio, Berilo, Uranio y otros metales.

Granitos y rocas plutónicas relacionadas

1. a RB 171 A — Pluton Pimampiro
   b Hornblenda - tonalita
   c Plagioclasa, cuarzo, biotita, hornblenda, clorita, mineral opaco.
   d No deformado; muy poca alteración

2. a 46 — Río Verde (complejo ígneo Azafrán)
   b Cuarzo - monzonita — Grano - medio.
   c Plagioclasa, cuarzo, ortoclasa, hornblenda, biotita, epidota sericita, material opaco.
   d No deformado; epidota y sericita formada por alteración plagioclasa.

3. a MC - 650 C — Metapluton Chingual
   b Hornblenda - granodiorita
   c Cuarzo, plagioclasa, biotita, hornblenda, ortoclasa, material opaco, epidota.
   d Deformado; recristalización en los bordes del grano.

4. MC - 462 A — Oyacachi "granito de cuarzo-azul"
   b Gneiss de granito (granate-ortogneiss)
   c Cuarzo, sericita, muscovita, clorita, granate, material opaco.
   d Fuerte fábrica metamórfica y alteración completa de feldespato y biotita.

5. a MC 462 B — Oyacachi "granito de cuarzo-azul"
   b Gneiss de granito (ortogneiss)
   c Cuarzo, sericita, ortoclasa, albita, clorita, material opaco.
   d Fábrica metamórfica y alteración fuerte.

6 a MP 375 B — Tampanchi
   b Granodiorita milonítica
   c Cuarzo, plagioclasa, biotita, epidota, muscovita, microclino
   d Cizallado (protomilonita)

7 a TAMP (B) — Tampanchi
   b Granodiorita milonítica
   c Cuarzo, plagioclasa, biotita, muscovita, epidota, microclino
   d Fuertemente cizallado y recristalizado (milonita).

8. a FV 343 Tipo Tres Lagunas, Río Zavala
   b Granito - milonita
   c Cuarzo, muscovita, biotita, carbonato, material opaco, albita, turmalina, granate.
   d Fuertemente cizallado y meteorizado.

9. a FV 356 Tipo Tres Lagunas
   b Granito - milonita
   c Cuarzo, albita, ortoclasa, muscovita, biotita, clorita, carbonato, circón, material opaco.
   d Fuertemente cizallado y con algo de meteorización.

10. a FV 329 Tipo Tres Lagunas
    b Biotita - granodiorita
    c Cuarzo, sericita, albita, ortoclasa, biotita, epidota, granate.
    d Algo de meteorización y deformación.

11. a FV 335 Tipo Tres Lagunas
    b Biotita - granito
    c Cuarzo, albita, ortoclasa, sericita, zoisita, biotita, muscovita, granate, mineral opaco.
    d Meteorización de plagioclasa y deformación débil.

12. a 653 Tipo Tres Lagunas, Río Zavala
    b Biotita - granito
    c Cuarzo, albita, ortoclasa, sericita, epidota, biotita, granate.
    d Meterorización de plagioclasa; muy poca deformación

13. a TAMP (C) Tampanchi
    b Granito cizallado
    c Cuarzo, albita, biotita, epidota.
    d Relictos de feldespato y cristales de cuarzo "sobreviven" en un cizallamiento fuerte y roca recristalizada.

14 al 20

3 Rocas metavolcánicas

El metamorfismo deformará o aún destruirá completamente los rasgos característicos texturales de las rocas volcánicas. Las rocas basálticas alteran a los esquistos de clorita y anfibolita. Las rocas más ácidas algunas veces retienen la textura porfirítica, pero las tobas pueden perder sus rasgos ígneos. Por esta razón, nosotros con frecuencia tenemos que hacer una conjetura acerca del origen de los esquistos feldespáticos y de los esquistos ricos en mica. Este pequeño grupo de especímenes ilustra muchos de estos rasgos. Las secuencias basálticas contienen un tipo Cyprus con depósitos de cobre. Los volcánicos ácidos contienen depósitos polimetálicos tipo-Kuroko y tipo-Roseberry. Las rocas volcánicas también proveen la fuente de metales para depósitos de venas polimetálicas.

1. a RB 179 A — Cerca a Monte Olivo
   b Esquisto de clorita (metabasalto)
   c Cuarzo, calcita, hornblenda, epidota, biotita
   d Meteorización completa de basalto durante el desarrollo de la textura del esquisto.

2. a RB 108 — Río Palora
   b Clorita meta-andesita
   c Cuarzo, albita, clorita, epidota, material opaco, turmalina, apatita, biotita.
   d Recristalizado durante el desarrollo de la textura del esquisto, pero los fenocristales de feldespato han 'sobrevivido'.

3. a FV 876 — División Loja, Atillo - Macas
   b Esquisto metavolcánico
   c Cuarzo, muscovita, clorita, ortoclasa, granate, material opaco, epidota.
   d Esquistos fuertemente cizallados probablemente de origen volcánico (posiblemente toba andesítica)

4. a FV 887 (1) — División volcánica subandina, Atillo-Macas
   b Esquisto metavolcánico
   c Cuarzo, muscovita, biotita, material opaco, turmalina, circón.
   d Esquisto cizallado de posible origen toba andesitica.

5. a FV 887 (2) — División volcánica subandina, Atillo-Macas
   b Esquistosidad meta-andesita
   c Cuarzo, albita, biotita, clorita, muscovita, material opaco
   d Roca esquistosa en la cual los fenocristales feldespatos han 'sobrevivido'.

6. a

6. a FV 867 — División Alao-Paute, Atillo - Macas
   b Esquistosidad de meta-andesita
   c Cuarzo, albita, epidota, clorita.
   d Puede haberse desarrollado una estructura lenticular esquistosa por ensanchamiento de vesiculas o de tobas soldadas.

4 Rocas metasedimentarias

El metamorfismo de las rocas sedimentarias desarrolla una variedad de cuarcitas, esquistos y mármoles. Los esquistos son importantes porque ellos frecuentemente contienen minerales que indican el grado de metamorfismo con referencia a los sistemas clásicos de Winkler, Miyashiro, Turner & Verhoogen y otros. Los ejemplos en esta colección contienen muchos de los indicadores minerales incluyendo granate, estaurolita, andalusita, cloritoide, sillimanita y cianita. Dos rocas adicionales son de mármol negro rico en material carbonaceo de grano muy fino de origen orgánico. Las rocas sedimentarias pueden contener enormes depósitos de Zn, Pb, Cu, y Ag, pero el más usual provee la fuente de metales para depósitos de venas polimetálicas.

1. a FV 29A
   b Filita
   c Cuarzo, muscovita, material grafítico, estaurolita.
   d Fábrica de esquistos poblada de cristales de estaurolita.

2. RB 327 Area de Cerro Hermoso
   b Esquisto de granate - muscovita
   c Cuarzo, muscovita, granate, hornblenda, material opaco, turmalina, epidota.
   d Los cristales de granate han sido rotados antes del crecimiento tardío de hornblenda.

3. a RB 311 Area de Cerro Hermoso
   b Esquisto de granate - muscovita
   c Granate, cuarzo, muscovita, clorita, hematita,
   d Los cristales de granate tienen sombras de presión, clorita formada tardíamente.

4. a FV 29B División Loja
   b Esquisto de estaurolita
   c Cuarzo, estaurolita, muscovita, biotita, feldespato, material opaco.
   d Abundante estaurolita es post-cinemática.

5. a RB 309 Area de Cerro Hermoso
   b Esquisto de andalusita
   c Cuarzo, muscovita, andalusita
   d Fangolita metamorfoseada

6. a RB 313 A Area de Cerro Hermoso
   b Granate - cloritoide - esquisto cálcico
   c Granate, cloritoide, cuarzo, calcita, mineral opaco, clorita
   d Cristales de granate 'esponjosos' preservan la fábrica temprana.

7. a RB 323 F Area de Cerro Hermoso
   b Esquisto de cloritoide
   c Muscovita, cloritoide, turmalina, cuarzo, rutilo, hematita.
   d Cloritoide azul pálido; turmalina azul-verdosa fuerte.

8. a RB 324 — Area de Cerro Hermoso
   b Cuarcita cizallada
   c Cuarzo, sericita, muscovita, cordierita
   d Lentes de sericita estirados a lo largo de la zona cizallada

9. a FV 44 — Basamento de Sabanilla
   b Gneiss de sillimanita.
   c Sillimanita, biotita, cuarzo, albita, material opaco.
   d Grado alto de metamorfismo

10. a FV 45 — Basamento de Sabanilla
    b Gneiss de cianita
    c Cianita, biotita, ortoclasa, cuarzo, muscovita
    d Grado alto de metamorfismo

11. a RB 310 — Area de Cerro Hermoso
    b Mármol negro
    c Calcita, material opaco (carbonáceo), cuarzo.
    d Grano fino, con fuerte fábrica metamórfica.

12. a RB 302 — Area de Cerro Hermoso
    b Mármol negro
    c Calcita, máterial opaco (carbonaceos), cuarzo.
    d Grano fino, con fuerte fábrica metamórfica.

Skarns

Los skarns son rocas especializadas formadas por meteorización metasomatica de calizas y otras rocas reactivas alrededor de un nivel alto ácido e intrusiones intermedias. A lo ancho del mundo ellos contienen depósitos muy importantes de oro, cobre, zinc y otros metales. Los especimenes de esta colección vienen de dos partes de la Cordillera Real. La mayoría son de skarns de los Llanganates y de áreas relacionadas. Estos no contienen mineralización en lo que conocemos al momento. Los dos especimenes Nambija son de la mina de oro del distrito de Nambija, y así son representativos de una clase importante del depósito conocido como "skarns de oro".

1. a Mp 472 E — Rio Chalpi (Oyacachi)
Esquisto de diopsido
c Cuarzo, ortoclasa, muscovita, biotita, diopsido, material opaco.
d Etapa temprana en meteorización de skarn de esquisto.

2. a MP 480 E — Río Chalpi (Oyacachi)
b Skarn de granate
c Cuarzo, granate, hedenbergita, hornblenda, calcita.
d Meteorización de calcita de skarn.

3. a MP 553 C — Sara Urco
b Skarn
c Hedenbergita, epidota, ferrohastingsita, biotita, calcita, cuarzo,
d Meteorización de calcita de skarn.

4. a MP 615 — Sara Urco
b Skarn de granate
c Granate, prehinita, actinolita, muscovita, epidota, calcita.
d Meteorización compleja de granate de skarn temprano.

5. a JA 2 — Distrito de oro de Nambija
b Skarn de granate
c Granate, cuarzo, calcita, diopsido
d Granate y diopsido temprano en cuarzo y calcita tardío.

6. a JA 9 — Distrito de oro de Nambija
b Skarn calcareo
c Granate, cuarzo, calcita, minerales opacos.
d Meteorización avanzada de calcita en roca rica en oro.

7. a RB 137 — Río Mulatos (Llanganates)
b Skarn de granate
c Granate, cuarzo, hornblenda, estilpnomelano, material opaco, apatita.
d Meterorización compleja con estilpnomelano muy oscuro.

8. a 281 — Río Mulatos (Llanganates)
b Skarn de epidota
c Epidota, calcita, hornblenda, minerales opacos, cuarzo, biotita, titanita.
d La concentración mineral opaca alta está asociada con meteorización de calcita de skarn de epidota.

Appendix 4b

APENDICE 4b

PETROGRAPHY OF SELECTED ROCKS FROM THE CORDILLERA REAL, ECUADOR

Neil J. Fortey, B.Sc, Ph.D, F. G.S.
Mineral Sciences Group,
British Geological Survey,
Keyworth
Nottingham NG12 5GG,
United Kingdom

Introduction

This petrographic report was compiled during a visit by the author in January, 1990, to the ODA-sponsored Cordillera Real project based at Quito. The work was carried out at the project office in INEMIN (the Instituto Ecuatoriano de Mineria) using a conventional petrographic microscope. The 114 specimens examined had been selected by Dr. M. Litherland (Project Leader) from among the total collection assembled by the project since its initiation in 1986. They were collected during traverses across the Cordillera Real terrane by the project geologists Dr M. Litherland, Ing F. Viteri, Santamaría, Dr J. Aspden and Ing M. Pozo Torres.

Dr Litherland had selected specimens so as to present a series of thematic suites each relevant to the interpretation of the economic potential of a particular area. The topics addressed were as follows:-

(1) Central and Eastern Belt serpentinites and related rocks (potential for Cr, Ni, Au, Pt).

(2) The Peltetec ophiolite belt (potential for Cr, Ni, Au, Pt).

(3) The Oyacachi-Papallacta "aluminous granite" belt (potential for Sn, W).

(4) The Tampanchi mafic/ultramafic complex (potential for PGE).

(5) Nambija gold skarns (presently mined for gold).

(6) Llanganates and related skarn fields (potential for Cu, Zn, Mo).

(7) The Monte Olivo pegmatite belt (potential for Sn, W, Nb).

Previous petrographical/mineralogical reports by Dr B. Beddoe-Stephens, Mr J. Dangerfield and the present author had described rocks and alluvial gold grains from Nambija and other sites of mineralisation as well as granitoids from the Tres Lagunas S-type and other plutons. Additional reports by outside consultants had dealt with skarn lithologies from Nambija and Llanganates .

The following report is set out as a series of summaries of each group of specimens, as requested by Dr Litherland. Individual thin section descriptions are not included, but copies of the rough notes are held by the project and by the author, and details are also recorded more formally on the project rock description forms. Previous results from the project are given in three annual Project Reports for 1987, 1988 and 1989 (unpublished) referred to below as the 1st, 2nd and 3rd Project Reports respectively.

The Cordillera Real project is a bilateral Technical Cooperation project between the Governments of Ecuador (INEMIN: Ministry of Energy and Mines) and the United Kingdom (Overseas Development Administration). The present visit was made at the behest of Dr J. Bennett of BGS Overseas Division. The author is grateful to Dr and Mrs Aspden for an introduction to the Country and the project, and to Lcda Fabiola Alcocer Carrasco (Mission Secretary) whose help and patience were greatly appreciated.

Soledad serpentinite

Seven thin sections were examined, from specimens RB342, RB296A, RB136, RB140A, RB144G, 261 and RB-1G. In all of them a massive interlocking antigorite mesh is the major component, forming virtually the whole of RB296A and RB1G. Relict chrome-spinel grains occur infrequently, and micro-poikilitic secondary magnetite is a common accesory mineral. Fine-grained talc occurs is patches in some of the specimens, notably in RB140A where it form c. 40%. Sub-poikilitic magnesite occurs in RB144G and RB1G, and is associated with development of shears in these rocks. RB136 contains an opaque euhedral crystal, probably an octahedral interpenetrant twin, of a mineral of uncertain identity.

These rocks have formed by static alteration of an ultrafic rock, probably peridotite sensu lato. Formation of magnesite and to some extent magnetite took place during a late shearing episode expressed as a spaced shearing fabric seen in only two of the specimens. In general the specimens provide evidence for static serpentinisation and emplacement in their present crustal setting with only minor deformation.

In principal, ophiolitic serpentinites carry the potential for alpine -type Cr-Ni concentrations, but mineralogically the present specimens provide little additional indication of such mineralisation. Comparison with analytical results given in the second and third Project Reports confirms the probable presence of minor quantities of chrome-spinel, but high Ni-contents as in RB136 and RB1G appear to correspond with specimens with low contents of opaque minerals, suggesting that most of the Ni resides within the antigorite itself.

"Urcococha" serpentinite

Three thin sections of rocks from this body were examined; specimens RB353, 343H and MP-518A. The thin sections indicate a massive serpentinite with patchy talc and tremolite alterations. The talc alteration is partially controlled by fracturing and shearing which post-date the original serpentinisations, and talc is accompanied by magnetite in the shear fabric. The specimen of tremolitic rock, RB353H, shows no shear fabric and may result from alteration which pre--dates the shearing.

It is difficult to comment on the origin of a serpentinite on the basis of such a small sample. Economically, the significant opaque content of MP-58A complements good Cr and Ni whole rock values indicating at least some potential for the presence of enrichment of these elements in the serpentinite as a whole.

"Baeza" serpentinite

Two thin sections of specimens R-43C and R-43D were examined. Though this is a minute sample, it does show evidence for strong shearing of a serpentinite with Cr and Ni concentrations similar to the Soledad or Urcucocha bodies. R-43D has a relict brecciated texture suggestive of erosion of the ultramafic "protolith" before re-burial and serpentinisation. Later tectonic shearing brought about local recrystallisation of massive antigorite together with formation of magnesite veinlets. Patches and disseminations of opaque minerals, probably magnetite and chromite are prominent in both thin sections.

"Zumba" complex

Thin sections of the following rocks were examined: FV469A, FV469B, FV470A, FV470B, FV470C, FV470D, FV669F(two thin sections) and FV669Q. Interpretation of the results will be greatly enhanced by reference to field relationships unknown to the present writer. However, with reference to comments in Litherland (1989: 3rd Project Report p. 18) it seems likely that FV469 and FV470 represent serpentinite and gabbro from the main part of the complex, while FV669 represents xenoliths within the Rio Mayo batholith.

The thin sections provide evidence of serpentinite with patchy development of a shear fabric with which veinlets of probable chrysolite and brucite are associated. Two specimens, FV470A and FV470C reveal the presence of unsheared tremolite or tremolite-talc rock. These carry relict olivine and also evidence of Ca-metasomatism after the tremolitic alteration. This metasomatism may have resulted from Ca-migration during serpentinisation (as a rodingisation), in agreement with the impression that here and in the "Baeza"

serpentinite tremolitisation took place early, during or before serpentinisation. However, the evidence is not conclusive.

FV469A is a quartz-gabbro which has suffered only limited deuteric or high-T metasomatic alteration. The lithology is difficult to ally with the serpentinite, and their juxtaposition may be tectonic in character.

FV669 is a remarkable orthopyroxene rich norite hornfels in which the presence of hornblende and epidote suggests recrystallisation at moderate temperatures well below the solidus. Although the rock has an ultrabasic character, it is difficult to regard it as a baked serpentinite. Thus, for it to be seen as part of the Zumba serpentinite, it may be necessary to postulate incorporation of parts of the Zumba ultramafics into the Río Mayo batholith <u>before</u> serpentinisation. However, at the present stage I am unable to comment further on this question.

No evidence of good economic potential for the Zumba complex has been adduced, although the high Ni-content of the Ca-metasomatised tremolite rocks FV470C (1138 ppm: 3rd Project Report) may be of interest if the mineralogical location of this amount of Ni could be determined . Litherland (3rd Project Report) considers the Cr and Ni values for these suites to be of little economic potential, but it may be worthwhile to determine the chemistry of chromite grains in the specimens at a later stage.

It is notable that these serpentinites occur as elongated strips of outcrop associated with major thrusts of the Cordillera Real nappe complex. The low degree of shearing is therefore surprising. Two explanations can be suggested. One is that static anealing of sheared fabrics may have taken place. The second, and more plausible, is that these massive specimens come from lenses of relatively undeformed rock within and between a series of shear zones which are themselves poorly expressed in the very limited exposure of the serpentinites.

<u>Peltetec ophiolitic belt</u>

A suite of 26 thin sections was examined representing rocks from three areas, as follows:-

<u>Peltetec</u> -(RB)57, 58, 59A, 59B, 59C, 59D, 59E, 59F, 59H, 59I, 60A, 60D, 225B, 225C, 225D, 225E, 225I, 225J, 225K.

<u>Penipe</u> - (RB) 209A, 209B, 209G.

<u>Huargualá</u> - (RB) 87D, 87F, 87H, 87J.

These sub-suites will be considered separately before any overall considerations are made.

Peltetec sub-suite

The 19 thin sections examined indicate a variety of rock types including "high-level", hypabyssal and plutonic varieties. "High-level" lithologies comprise altered basalts (RB-57, RB-58, RB-59F, RB-59I, RB-60A) and volcanoclastic sediments (RB-59E, RB-60D). Hypabyssal rocks are represented solely by one specimen (RB-225B). Plutonic types include serpentinite (RB-225E) and variously altered gabbros (RB-59B, RB-59C, RB-59D, RB-59H, RB-225C, RB-225D, RB-225I, RB-225J), possible norite (RB-59A) and peridotite (RB-225k).

The range of lithologies is compatible with an ophiolite origin, although the distribution of rock types probably represents the haphazard sampling pattern resulting from the intermittent exposures. Wide variation in the degree and style of alteration indicates rocks with differing petrogenetic histories being brought together in the present mélange. However, hydrothermal brecciation and veining in two samples is more probably of later, post-mélange origin.

Three of the specimens are of sparcely microporphyritic basalt dominated by a dark, only incipiently devitrified groundmass which in one specimen is flow foliated. One specimen, by contrast, is a highly porphyritic, vesicular rock. Phenocrysts appear to be plagioclase and probable olivine in the quasi-aphyric rocks, but plagioclase and augite in the porphyritic rock. Alteration is only moderate, to quartz, albite, carbonate, sericite, chlorite and epidote for the most part; compatible with reaction with heated seawater.

In the hydrothermally brecciated basalt specimen (RB-60A) intense brittle fracturing has allowed formation of an orthogonal network of veins with considerable dilation of the rock. Mortar-textured quartz veins intersect with cross-fibre epidote-quartz veins, and late, obliquely foliated carbonate veinlets are accompanied by deposition of carbonate granules on mortared quartz grain boundaries. The carbonate veinlets carry fibres of possible anthophyllite where they cut earlier-formed epidote. Relative timings of these veins are debatable, especially when seen in conjunction with the adjacent brecciated sedimentary rock (RB-60D).

One specimen (RB-59F) differs radically in being a strongly foliated, schistose metabasaltic rock whose primary mineralogy and texture have been obliterated. Indeed, its inclusion as a basalt is in itself questionable; minute lenticles of siliceous or serpentinitic material may be clasts of altered basalt or relict altered pyroxene crystals derived from a plutonic precursor.

The two specimens of sedimentary rocks are both basaltic, volcanoclastic varieties. One is a micro-breccia in which subangular basalt and dolerite clasts are set in groundmass of comminuted basaltic material. The other (RB-60D) is a quartzo-feldspathic siltstone fractured and invaded by albite-epidote veins carrying patches of fine grained "mylonitic" quartz as well as patches of

carbonate and a brown-hued clay mineral. In contrast to RB-60A, the mylonitic material appears here to pre-date the epidote veining.

The single dolerite specimen shows spilitic alteration of a microgabbroic textured rock.

The plutonic rocks can be divided into those in which alteration has destroyed almost all the primary constituents, and those in which augite is substantially unaltered. Among the former group are rocks in which primary grain boundaries are preserved, indicating static alteration. Alteration products of pyroxene include dark-stained carbonate, probably brucite, and micro-scale tremolite-chlorite intergrowths with a distinct boxwork structure. Plagioclase alteration products include chalcedonic pseudomorphs and complex quartz-hematite-sericite pseudomorphs. Other alteration products include carbonate and albite. The brucite rich rock (RB-225I) may be altered norite rather than gabbro <u>sensu stricto.</u> Other plutonic rocks with deformed fabrics comprise foliated tremolitic serpentinite and sheared gabbro rich in brucite (after pyroxene) and periclase (isotropic pseudomorphs after feldspar). Specimen RB-59F (see above) may also belong in this subgroup.

The sub-group of less altered plutonic rocks comprises melanocratic olivine-gabbros and peridotite. In general, plagioclase in these rocks has been replaced by pseudomorphs of brown, sub-opaque, cryptogranular material, possibly made up of quartz and hematite. Olivine is replaced by pseudomorphs of serpentine or of chlorite-quartz. Pyroxene, however, has resisted alteration and displays the strong birefringence and oblique extinction of augite. Orthopyroxene was not specifically identified. Sparse opaque grains occur embedded in the margins of olivine pseudomorphs or within augite crystals. Alteration of these rocks has been a static process, though fracture veinlets of chlorite-carbonate-hematite and of albite-sericite were noted infrequently. One specimen shows zones of penetrative comminution probably due to forceful gas penetration and resultant fluidisation, suggesting interaction with near-surface eruptive activity considerably later than the original formation of the rock.

<u>Penipe subsuite</u>

The three specimens represented here comprise a deformed volcaniclastic mudstone, a serpentinite and a pyroxenite. In the mudstone (RB 209A) lenticles preserving an early foliation are set in a strongly foliated matrix: the early fabric is effectively perpendicular to the later, but it is not clear whether the earlier is actually a bedding fabric or not. Mineral constituents of this rock include hornblende, quartz and probable feldspar, suggesting metamorphism at moderate temperature. The serpentinite shows an early, massive mesh fabric crossed by magnesite veinlets which were deformed in subsequent shear deformation of the rock. The pyroxenite is a massive, coarse grained augititic rock with quartz-epidote in veinlets and minor augite replacements.

Huarguallá sub-suite

The four specimens each represent a distinct lithology. One is an intensely deformed and altered basaltic rock similar to specimen RB-59F from Peltetec. In the present specimens fresh crystals of brown pleochroic augite are present, but their paragenesis is uncertain. A second specimen has a similarly schistose fabric but in this case static silicification has taken place after the shear deformation, resulting in preservation of the foliation in a cherty jasparoid lithology.

The third specimen is feldspathic olivine-pyroxenite showing alteration of feldspar and olivine but preservation of augite, an alteration style very like that seen in other melagabbroic and pyroxenitic specimens in this suite.

The fourth specimen is a composite breccia. Two stages of brecciation are indicated, the earlier sedimentary, the later hydrothermal. In the later stage loosely packed mm- to cm-scale fragments of sedimentary microbreccia and dolerite are cemented by a chlorite-albite matrix, and the rock is also cut by later, dilational, cross-fibre veins of coarsely crystalline albite. The microbreccia fragments contain clasts of augitic silty mudstone, augite and cherty mudstone set in a muddy matrix of similar composition; this early brecciation evidently took place in a volcano-sedimentary environment.

General comments

Taken as a whole, the suite of specimens from the Peltetec belt form a consistent set of ophiolitically related lithologies. The basalts and sedimentary rocks could represent the upper part of oceanic crust. The dolerite could represent intermediate levels in which dykes are dominant. The plutonic rocks could represent sub-crustal magma-chambers. Other rocks could represent alteration and deformation on shear zones before incorporation into the mélange or during subsequent tectonic movements. No continental or arc-derived rock types were encountered.

It is unwise to speculate, on the basis of the present petrographic examination, about the economic potential of the Peltetec belt. I note that Litherland (1988: 2nd Project Report) records up to 1.6 ppm Au in rocks from this belt, and thus considers that it merits prospection for precious metals and steel industry metals. While this may well be so, the juxtaposing of diverse high-level and plutonic rocks must limit the possibility of large coherent bodies of rock with primary metal enrichment. It may be necessary to look for areas where secondary, post-mélange mobilisation has taken place, or to consider Peltetec rocks as a protore for later, Cenozoic mineralisation.

Oyacachi - Papallacta "Aluminous granite" belt

Eight thin sections were examined representing granite and country rock lithologies. Specimens MP-461B, MP-462A and MP-462B represent granitic rocks from the Oyacachi area. Specimens SH-01B and MP-625 are granitic rocks from the Papallacta area; specimens SH-01C1, SH-01c2 and SH-01E are country rocks from the Papallacta area.

Oyacachi area

The specimens are deformed and altered garnet-granite reminiscent of descriptions of rocks of the Tres Lagunas granite suite (eg. report by J. Dangerfield in the 3rd Project Report). Original granitic textures have been destroyed save for the irregular, reentrant forms of pink garnet crystals. The rocks have acquired a gneissose fabric expressed in the general elongation of the interlocking areas of quartz and altered feldspar. Plagioclase shows strong sericite alteration accompanied by clusters of well crystallised muscovite flakes, and also by minor chlorite. Where sericitisation is advanced, deformation has resulted in a foliated, lepidoblastic fabric in pseudomorphs. In MP-462A plagioclase has also been partially replaced by quartz. Biotite has been replaced by areas of coarse muscovite, or of chlorite-muscovite-quartz-opaque. Garnet is mostly unaltered, but in MP-461B areas of intimate sericite-epidote intergrowth may in part represent alteration of coarse areas of garnet. Compact primary opaque grains of probable magnetite-ilmenite occur in small numbers, but more conspicuous are disseminations of platy opaque grains, possibly of hematite or ilmetite. Accessory minerals include zircon and apatite.

One specimen, MP-462B, shows a more advanced style of alteration. Stumpy prisms of pale brown-violet tourmaline are a minor constituent. The abundant platy opaque grains are accompanied, in areas of feldspar alteration, by chlorite, swarms of minute rutile grains, and areas of minute pale-green prisms interpreted as possible chloritoid.

The rocks evidently represent aluminous granite with mineralogical characteristics similar to the "S-type" Tres Lagunas suite, and as such may indicate the northward extension of these rocks. Alteration took place during metamorphic deformation, and involved interaction with the metamorphic fluid to give a complex pattern of alteration with elements of greisenisation and of equilibration with regional greenschist metamorphism. No cassiterite or W-minerals were identified.

Papallacta area

A specimen of garnet-granite from this area proved to be a biotite-garnet-granite similar to the Oyacachi rocks described above, showing a similar pattern of deformation and alteration. However, in this

example, SH-01B, strain and grain boundary suturing is less pronounced than in the above examples, biotite shows only minor muscovitisation, plagioclase shows partial quartz replacement and alteration to sericite and (?clino) zoisite with preservation of albite rims, and K-feldspar is little altered but displays a complex pattern of strain-induced fine twinning. Late alteration is represented by infrequent carbonate hairline veinlets accompanied by blue-green tourmaline, and epidote and rutile are associated accessory minerals. The second specimen, an example of "blue-quartz" granite, is a similar garnet-bearing rock in which the quartz shows intense mortar texture and internal strain which probably are the cause of its blue body colour.

It should be pointed out that in all these granite specimens potassic feldspar appears to be subordinate to plagioclase, so that the rocks are more correctly called monzogranite.

The remaining three specimens of country rocks from the Papallacta area include a garnet-mica-schist of possible sedimentary origin. The other two are banded sericitic schists of probable volcanic origin, as intermediate to acid tuffs perhaps. Sericite bands alternate with garnet-chlorite-quartz bands at the cm-scale. In one specimen the garnet-bearing bands are also enriched in opaque grains. This specimen, SH-01C(2), displays a lenticular structure owing to pinching and minor displacement of the bands on an oblique, spaced cleavage. In these rocks the presence of apparently prograde chlorite suggest that, despite the presence of garnet, the grade of regional metamorphism is probably about middle greenschist.

Tampanchi mafic/ultramafic complex

Twenty-one rocks selected by Dr Litherland to represent distinct lithology based parts of the complex are as follows:-

Ultrabasic rocks:	MP-377, 379
Pyroxenites:	RB-247G, 247H, 247J; MP-374A, 374B, 386B
Amphibolites/gabbros	RB-247B, 247F, 247N, 247M; MP- 370, 380, 383A, 439.
Acid rocks:	375B, TAMP-A, TAMP-B, TAMP-C, TAMP-D.

Ultrabasic rocks

The two specimens comprise a serpentinite and an olivine-clinopyroxenite. The serpentinite has a bastite texture in which preservation of relict cleavage traces may suggest replacement of orthopyroxene rather than olivine, implying alteration of orthopyroxenite or websterite. However, relict crystal forms are not typically prismatic, so it remains possible that olivine has been replaced. This rock hosts relict primary opaque oxide grains, and may thus be a source of Cr and other ultramafic-related metals. The olivine-clinopyroxenite is more typical of the Tampanchi complex in that augite is a dominant mineral, while olivine is subordinate and orthopyroxene very minor or absent (orthopyroxene would be recognised

optically by low birefringence and straight optical extinction in prismatic sections, also if sufficiently ferrous by the presence of characteristic pleochroism). This rock is also characteristic of the suite in that it displays pervasive partial alteration of augite to green amphibole. In this example the amphibole has a pale body colour and is probably actinolite rather than hornblende. Throughout the suite amphibole becames more important, leading to hornblende-gabbro and hornblende-basalt in which it apparently was a mafic liquidus phase to the exclusion (possibly through total resorption) of pyroxene.

Pyroxenites Following on from the olivine-clinopyroxenite already referred to, these specimens comprise a set of hornblendic augitites with only minor olivine and possible minor orthopyroxene (not specifically proven) in a minority of the rocks. Serpentine was identified as a minor alteration product in two of the rocks, and goethitic pseudomorphs after probable olivine in a third.

The dominant petrographic element of these rocks is a massive, cumulus aggregate of augite crystals generally of 1-3mm prism-thickness. The crystals have suffered varying degrees of hornblende repalcement, but are otherwise substantially unaltered. Twinning on (100) is common but orthopyroxene exsolution (diallage) was not observed. Hornblende is present ubiquitously. It occurs as small (ca. 0.1-0.5 mm) pockets scattered through augite crystals which in 3-dimensions may link up in a vermiform fashion, as patches formed by alteration of the margins of adjacent augite crystals, and as poikilitic areas in which subhedral augite crystals are embedded.

Apart from the hornblende, alteration is limited. Opaque granules which occur at grain boundaries and within hornblende cleavage planes are probably hematite or another iron-oxide mineral.

Specimen MP-374B is exceptional in that a tongue of interlocking andesine crystals cuts across the augite aggregate. The form of this suggests fissuring of the aggregate at or above solidus temperatures, resulting in rapid precipitation of feldspar from magma supersaturated in aluminium. The feldspar tongue is itself penetrated by a vein-like growth of augite deposited during further rupturing of the feldspar body itself. Finally, the feldspar has undergone partial alteration to epidote at a much lower temperature.

Amphibolites and gabbros These rocks comprise a variety of hornblendic lithologies. Coarse hornblendite is made up of an aggregate of quasi-pegmatoid prisms. In this lithology labradorite and, possibly, a less calcic plagioclase occur as crystals of comparable grain size or intergrown with quartz in interstitial pockets. The hornblende shows weak chloritisation, and the feldspar shows partial to complete alteration to epidote and muscovite. Opaque minerals are effectively absent from this pegmatoid variety of rock.

Specimen RB-247B is a tremolite rock in which very coarse grained pegmatoid tremolite prisms appear to represent wholescale replacement of the pegmatoid hornblende lithology.

Specimen RB-247N is a distinct lithology made up of a massive cumulus aggregate of 1mm sized hornblende crystals. Opaque grains, probably of magnetite, are common at hornblende grain boundaries. The hornblende has suffered minor epidote alteration. An allied lithology is hornblende-gabbro (MP-380) of typically plutonic gabbroic texture but with hornblende in the role usually taken by pyroxene. The amphibole is unaltered, but the labradorite shows partial alteration to epidote and muscovite. Opaque grains are infrequent in this rock.

The remaining two rocks, MP-370 and MP-383A, are of an unusual hornblende-basalt, possibly the dyke or extrusive equivalent of the hornblende-gabbro. In both examples hornblende forms ca. 50% by volume. Both have a somewhat granoblastic, sub-idiomorphic to allotriomorphic, character to the groundmass. MP-383A is aphyric, and is tentatively seen as a hornfels. However, MP-370 is porphyritic, with subhedral phenocrysts of hornblende 1-2 mm in diameter. Opaque granules are a minor disseminated part of one rock but are almost absent in the other. MP-370 is almost free of alteration, but clinozoisite granules occur thinly disseminated in MP-383A.

<u>Acid rocks</u> - These specimens represent a major change in lithology from the other Tampanchi specimens examined. The five rocks present differing degrees of cataclastic deformation and hornfelsic alteration of a suite of acid plutonic rocks. So far as can be judged the original rocks varied from monzogranite to diorite. Original mafic constituents have been obliterated, but the absence of garnet is perhaps significant in that it supports the impression that these rocks should not be linked with the Tres Lagunas - Oyacachi suite of S-type granitoids.

Following the conventional classification of crushed rocks, the specimens vary from protocataclasite, through cataclasite, to mylonite.

Hornfelsing is conspicuous in one specimen (TAMP-C) in which extremely fine-grained biotite is abundant. In other rocks, shreds of biotite, often accompanied by muscovite and epidote, are common. Specimen TAMP-D is distinct in that post-deformation alteration has been intense possibly reflecting a more mafic original lithology. Plagioclase shows partial clinozoisite alteration, and a pale tremolitic amphibole is common. Further alteration of this rock is expressed in the presence of biotite, muscovite, chlorite, epidote and carbonate, and also by partial alteration of the pale amphibole to a brown-stained, sub-opaque material.

<u>Discussion</u> It can be argued that the Tampanchi suite of rocks represents a hornblendic, calc-alkaline plutonic complex, and is not of itself ophiolitic in character. The ultramafic to gabbroic rocks suggest a continuum in which augite and hornblende are dominant. At one extreme is the serpentinised orthopyroxenite or dunite, whose relationship with the other rocks is uncertain. It could represent one end-product of the plutonic differentiation, or be xenolithic material transported up from deeper, possible upper mantle, levels. This rock apart, the trend is from massive, fresh cumulus

clinopyroxenite (augitite) towards increasing proportions of hornblende and, at a later stage, to increasing importance of plagioclase, leading to augite-free hornblende-melagabbro. Augite evidently was the initial liquidus phase, but was resorbed and replaced by hornblende so that at the solidus hornblende and calcic plagioclase were forming. The surviving hornblendic pyroxenites may be massive crystal aggregates that resisted complete replacement by the amphibole. The two fine grained rocks comprise a hornblende-labradorite-clinozoisite hornfels and what appears to be a hornblende-phyric hornblende-basalt in which it is possible that the hornblende phenocrysts formed by alteration at around solidus temperatures of initial augite phenocrysts, prior to eruption.

The specimens appear to represent gravimetric or flow diferentiation of mafic phases from an undersaturated basalt magma in which high PH2O caused hornblende rather than augite to be stable at the solidus. Thus augite is accompanied by olivine, while many rocks are dominated by the relatively low-silica amphibole, and quartz was recorded only in pegmatoid hornblendite.

These basic rocks are little altered and free of deformation. It is therefore difficult to see how the cataclastic granitoid acid rocks could be related to them temporally or petrogenetically. Rather, it is likely that they represent older "basement" plutonites which suffered crushing and local hornfelsing before or during events which lead up to emplacement of the Tampanchi mafic complex.

Dr Litherland suggests comparison of the Tampanchi complex with Alaskan-type ultramafic complexes. Certainly, if a concentric pattern of lithologies grouped about a dunitic or peridotitic core can be demonstrated, then this comparison is attractive. However, there are some inconsistences apparent in a simple equating of these complexes based on comparison with Alaskan complexes as described by Taylor (1967). At Tampanchi it is possible that a core of orthopyroxenite rather than dunite is present; further field research will be required to seek incompletely altered material in order to resolve this question. Anorthite , characteristic of Alaskan complexes, has not been recorded at Tampanchi. On this point, however, it is worth pointing out that in the plagioclase-bearing pyroxenite (MP-374B) clinozoisite alteration of plagioclase will have modified the original feldspar composition, and similarly in the melagabbro (MP-380) a certain degree of feldspar alteration has occurred. Typical Alaskan clinopyroxenites contain ca. 10-20% magnetite; opaque contents of the Tampanchi pyroxenites are very low, which is puzzling, although one suspects that differential weathering may have lead to a sampling bias towards layers of massive, unaltered rock. Alaskan ultramafic complexes are intruded into larger gabbro plutons, but no pyroxene-gabbro occurs in the present suite of thin sections unless the hornblende-metagabbro represent alteration of this component. Moreover, the style of alteration in which augite remains unaffected is reminiscent of that seen in pyroxenite from the Feltetec ophiolite mélange.

On present evidence, it appears that Tampanchi may be rather different from the classic Alaskan complex in some respects, though a broad similarity is present. Furthermore, it should be repeated that the present small suite of specimens is a poor basis for drawing such conclusions. The present evidence indicates an undeformed, and perhaps relatively young pyroxenite ultramafic body. The apparent high proportion of hornblendic rocks is more reminescent of the type Alaskan bodies rather than their counterparts in the Ural mountain (ef. Taylor, 1967), which is perhaps a little discouraging with regard to the potential for PGE concentrations of economic importance. However, such generalisations are of dubious validity, and further examination of the complex is required before its mining potential can be properly assessed. From the petrological point of view there is a clear need for further work here, including additional sampling, detailed mapping, ore mineralogy, micropobe analyses and whole-rock analyses.

Reference

Taylor, H. P. 1967. The zoned ultramafic complexes of southeastern Alaska. In, Wyllie, H.P. (ed). "Ultramafic and related rocks". Wiley, New York, 97-121.

Monte Olivo "pegmatites"

Four specimens (MC-643C, MC-644A., MC-644B and MC-646A) were examined in thin section. Although they colectively display pegmatoid features, notably coarse cm-scale sheaves of muscovite, they are in fact deformed gneissose granites in which original mafic silicates have been destroyed, while sericite and muscovite have become major constituents. MC-643C is notable for the occurence of thinly scattered 1-2mm pseudo-hexagonal crystals of a deep, inkyblue mineral provisionally identified as dumortierite [$Al_6BS2_7O_{19}$ (OH)], a mineral characteristically found in granite-pegmatites and hydrothermally altered granitoids (Heinrich, 1965). However, confirmation at a later stage of this identification is advised.

Specimen MC-646A is distinct in that it is albite rich, and poor in both quartz and K-feldspar. Moreover, it has suffered hydrothermal alteration to muscovite, chlorite and coarse (up to 3 mm long) euhedral prismatic epidote. This alteration becomes exclusively chloritic around a massive, outwardly poikilitic, skeletal patch of probable titanite, within which is an irregular, part digested core of golden red probable rutile. The "titanite" could be a misidentification of cassiterite, and I would advise further work to rule out this possiblility and confirm the identity of the "rutile".

Two additional specimens, MC-642A and MC-645A, are feldspathic schists. In the first, schlieren-like shreds of fine-grained feldspathic schist contain coarse porphyroblasts of orthoclase, and preserve an isoclinally contorted schistose fabric. However, much of this rock consists of a groundmass of granoblastic quartz with minor interstitial feldspar. The rock can be interpreted as semi-pelitic schist which has been strongly crenulated and feldspathised. MC-645A is similar, but here shreds of feldspathic schist have become more or less detached from one another, and are embedded in a groundmass of albite mosaic. It is thus an albite-schist. Orange ferroan material, possibly jarosite, forms local stains, cross-cutting veinlets, and local pseudomorphous patches after pyrite. These pyritic patches are accompanied by fringes of cross-fibre quartz. In their strongly feldspathic character, these two rocks may be petrogenetically related to the albitic granitoid MC-646A in that all three have undergone soda-metasomatism and feldspathisation.

Reference

Heinrich, E. W., 1965. Microscopic identification of minerals. McGraw-Hill, New York, 414 pp.

Nambija skarns

The three specimens examined (JA2, JA7, JA9) represent successive stages in the retrogressive alteration and related mineralisation of skarn rock. JA2 is skarn in which little retrograde alteration has taken place. Grandite crystals are embedded in strain-free poikilitic quartz accompanied by infrequent pockets of similarly poikilitic carbonate.

Pyroxene grains (probably diopside-hedenbergite) occur within both quartz and garnet, accompanied (and probably replaced by) carbonate grains in the latter situation. The garnet occurs as massive patches and as individual euhedra, forming some 70% of the rock.

In detail, three main stages of garnet growth are apparent in JA2. The middle stage is colourless in thin section , displays 1st-order birefringence and shows both fine concentric growth zoning and sector extinction. Within euhedral growths of this middle stage lie cores of early colourless, birefringent, garnet. The cores are geometrically complex, possibly made up of clusters of small granules, and are intergrown with pyroxene and carbonate grains. The late garnet is colourless to pale green in thin section, and may be more andraditic than the earlier stages. It forms subhedral to quasi-spherical shells around the euhedral middle stage crystals. It displays 1-st order birefringence and, often, a radiating pattern of optical extinction. It may also display fine, concentric growth zoning. The middle and late growth stages are typically separated by a thin shell of isotropic garnet which takes the form of crescentic septa where there is a geometrical misfit between the shapes of the middle and late growths.

JA7 is similar to JA2, but here there is a brecciated texture. Clasts and grains of early-middle garnet are embedded in, and back-veined by, unstrained poikilitic quartz and subordinate carbonate. Late stage garnet forms thin rims around earlier garnet patches and also forms small euhedral crystals of its own. Moderate retrograde carbonate alteration is shown by small grains within early-middle stage garnet and in the quartz, all probably formed by pyroxene replacement; no pyroxene was recorded in this thin section. The carbonate grains in the quartz are hematite stained, creating areas of penetrative red staining in the rock.

JA9 shows advanced carbonate alteration. Grandite-mosaic quartz skarn remains as relict patches in the fine-grained semi-massive retrograde carbonate. Opaque grains lie thinly dispersed through the carbonate alteration.

This small sample of three rocks shows features characteristics of the gold skarns (Meinert, 1988) in that mineralisation (opaque grains) occured during late carbonate-rich alteration of grandite-rich skarn. Birefringence and concentring zoning are common in skarn grandite, as are complex, multi-stage growth patterns (e.g. Meinert, 1982). No

indication of the pre-skarn protholith is apparent. However it would be useful to know if the growth pattern of Nambija grandite was towards irom enrichment, and if a similar pattern is present in the pyroxene (in that pyroxene in the probably recrystallised quartz may be more iron-rich than that embedded in early garnet).

A cursory examination of poikilitic quartz and carbonate in JA2 shows that both contain 2-phase (liquid-gas) fluid inclusions. Homogenisation tests combined with analyses of co-existing garnet and pyroxene could help define T and f02 conditions of skarnification (cf Meinert, 1982). Previous fluid inclusions analyses carried out on these samples by Dr T.J. Shepherd (2nd Project Report) indicate that the quartz in JA2 formed at ca. 200°C. This is much lower than the temperature at which the coexisting garnet might be expected to form, indicating that the poikilitic quartz has completely recrystallised during the retrograde alteration. Fluid-inclusion results for all three samples indicate a progression to slightly lower temperatures and considerably increased salinity with progressive alteration and mineralisation.

References

Meinert, L. D. 1982 Skarn, manto and breccia pipe formation in sedimentary rocks of the Cananea mining district, Sonora, Mexico. Econ. Geol. 77, 919-949.

Meinert, L. D. 1988, Gold in skarn deposits a preliminary overview. In, Proceedings of the Seventh Quadrennical IAGOD Symposium, 342-367.

Llanganates and related skarn fields

Introduction

Skarns and related protoskarns outcrop in the form of high-level klippe separated by areas of lower topography over some 200 km along the eastern flank of the Cordillera Real. The first of these was discovered by Dr Litherland in the Llanganates area (1st Project Report). Blocks of skarn from this field were located in Rio Mulatos and described petrographically by B.P. Minerals International (report incorporated in the 1st Project Report as Appendix 5). Outcrop samples of Llanganates skarn were described by Dr Pat Williams for B.P. Minerals (report incorporated in the 2nd Project Report as Appendix 5).

The present report deals with small suites of thin sections of specimens from other skarn fields in this group. In addition, data from the previous reports are summarised. Finally, an overview is taken in which similarities between the suites of specimens are discussed.

It is important to appreciate that access to the skarns is very difficult owing to the elevation, isolation and adverse climatic environment of the outcrops. Many of the specimens are from boulders in the river gorges which drain the cordillera.

The skarn fields are as follows:-

Rio Mulatos - Llanganates area
Rio Verde
Urcucocha
Río Quijos
Oyacachi
Sara Urco

Río Mulatos

Eight specimens were examined as hand specimens and thin sections for B.P. Minerals International Ltd. The rocks were collected from the river which is eroding the outcrop area of the Llanganates skarn field.

Two of the specimens were of calc-alkaline plutonic rocks carrying primary hornblende and biotite. Both show pervasive saussuritic (epidote-sericite) plagioclase alteration. One shows secondary growth of biotite particularly evident in marginal replacement of primary hornblende. Both show extensive chloritisation of primary biotite and formation of minor epidote and pyrite (disseminated; <2% vol.). Formation of the secondary chlorite was accompanied by minor

deformation indicated by buckling of altered biotite and by concentration of chlorite into widely sparced shear fractures.

One specimen is a biotite-chlorite rich schist with blue-green tourmaline particularly developed as rosettes embeddded in areas of otherwise clear quartz mosaic. Calcitic is confined to minor late fractures in this rock.

One specimen is a chlorite-phyllite in which sub-rounded 4-8 mm garnet crystals have grown by replacement of the foliated groundmass. In detail, these garnets are part altered, with pale chlorite rims, inner rims of chlorite crowded with opaque matter, and cores of garnet strongly veined by chlorite: the chlorite is retrograde, and the nature of the original, presumably pelitic mineralogy is uncertain.

The remaining specimens are calcic skarn rocks in which early skarn alteration has been strongly modified in two episodes of retrograde alteration. Initial skarn alteration resulted in formation of pale pink garnet (probably grandite, although there are no analyses to prove this) and colourless to apple green diopside-hedenbergite. Early retrograde alteration gave epidote, amphibole and, in one specimen, orthorhombic humite. Late alteration gave extensive formation of carbonate by replacement and deposition in fractures. The amphibole, green to deep-blue green hornblende and ferrohastingsite, probably formed later than the epidote. The carbonate, including calcite and ankerite, is accompanied by chlorite, magnetite, pyrite and pyrhotite. Total opaque contents are 2-6 %, so the rocks can hardly be described as "magnetite-skarns" as stated in the B.P. report.

Llangantes skarn outcrops

The 1987 report by Dr P. J. Williams of the University of London (2nd Project Report Appendix 5) describes 31 outcrop specimens from the Llanganates skarns in the Rio Mulatos area. In addition to detailed specimen descriptions, Williams provides a concise summary of his findings which is reproduced here (see pp).

Two specimens of igneous rock, a diorite and a plagiophyric "microdiorite" (dacite) display cross-cutting zones of epidote imposed on an earlier foliated sericite alteration fabric. They have probably been involved in the skarn alteration process.

Sedimentary rocks include marbles and schists. The marbles contain grossular, and one specimen carries minute grains of red sphalerite and other sulphides. The schists include gemuinely sedimentary and probable metavolcanic (tuffaceous) rocks.

Most of the specimens are partially skarn altered or thoroughly skarn altered. The skarn mineralogy is very variable although the range of minerals present is limited and is generally consistent from specimen to specimen. Variation in protolith rock types has exerted

considerable control, resulting for instance in monomineralic clinozoisite, epidote and tremolite rocks. However, in general the mineral assemblage is made up of grandite, hedenbergite, epidote, hastingsite amphibole, quartz, carbonate (likely calcite) and opaque minerals. Minor constituents include biotite, chlorite, apatite, adularia and titanite. Textural relationships consistently indicate that distinct prograde and retrograde stages can be made out. However, within these stages paragenetic indications are inconsistent and difficult to interpret. Within the prograde assemblage early "proto-skarn" actinolite is overprinted by grandite, hedengergite, epidote and ferrohastingsite. Epidote and the amphibole often appear to have formed later than the garnet and pyroxene, which may have grown at the same time. However, it seems probable that there was overlap in the growth periods of these minerals, leading to the inconsistencies refered to. Biotite appears to represent a minor component of K-metasomatism late in the skarn alterations and is also seen as post-kinematic porphyroblasts grown in actinolite-rocks. The retrograde stage is dominated by carbonate and quartz deposited as veinlets and replacements. Apatite and adularia occur as trace constituents in this stage, and chlorite is important locally. Opaque minerals, comprising magnetite, pyrite, pyrhotite and chalcopyrite according to Dr Williams, are widespread. Most can be related to the retrograde stage of alteration, but some probably formed with the calc-silicates of the prograde stage.

Finally, a single specimen of tourmaline-quartz rock was described. The tourmaline varies from deep blue-green to pale pink-brown, suggesting a dravitic variety.

Major and trace element analyses of this suite by the ICP-Optical Spectrometry method were sponsored by B.P. Minerals International and are given in the 2nd Project Report Appendix 1. Variation of the major elements such as Ca and Mg is broadly in accord with what would be predicted from the rock types, but the results are suspiciously low in many cases. For instance, quartz-grossular rock (RB-285C) is recorded as having only 0.47% Al, 2.47% Ca, 0.04 % Mg and 0.50% Fe: these figures are very difficult to believe and must caste some doubt on the quality of these data. Bearing this in mind, the analyses indicate the following maximum concentrations:-

Fe	16.64 %	-	in schist
Mn	32581 ppm	-	in clinozoisite rock
Co	51 ppm	-	in diopside skarn
Ni	483 ppm	-	in serpentinite (814 ppm Cr)
Cu	1347 ppm	-	in tourmalinite
Zn	4279 ppm	-	in epidote rich schist
Cd	22 ppm	-	ditto
Pb	278 ppm	-	in amphibolitic skarn
Ag	5.8 ppm	-	in grossular skarn
As	294 ppm	-	in amphibolitic skarn
Sb	6 ppm	-	in serpentinite and in skarns
Bi	8 ppm	-	in serpentinite
W	23 ppm	-	in marble
Au	46 ppb	-	in amphibolitic skarn with 294 ppm As.

None of these values are especially high, but there is some indication of Zn and Cu enrichment related to the metasomatism. Also, the highest Au corresponds with the higest As, suggesting hydrothermal deposition of these elements in a specimen (RB-286A) of massive fine-grained epidote-quartz schist with early-metasomatic actinolite and traces of hematite. There are thus hints of hydrothermal metal enrichment in the Llanganates skarns, but nothing of obvious economic significance.

Rio Verde

This area lies some way south of the main Llanganates area. Two specimens were examined. One is interpreted as a metasomatised tuff in which minute actinolite grains occur abundantly through massive fine-grained sericite rock crossed by a veinlet of epidote, quartz and tremolite. The other is massive fine-grained epidote rock carying patches of quartz + amphibole and other areas with interlocking sheares of amphibole prisms. The amphibole here is pale blue-green, possibly actinolitic hornblende. This latter specimen could be described as an epidote-skarn.

Urcucocha

This area lies north of Llanganates. Seven specimens were examined. Five are of massive, fine to medium grained epidote skarn, one of a dacitic meta-volcanic rock, and one of quartz-muscovite schist which may be metamorphosed tuff. The skarn specimens show retrograde alteration to chlorite and quartz and then to carbonate. Minor hematite and K-feldspar are associated with the carbonate. Blue-green actinolitic hornblende is also spatially associated with the carbonate in one of the specimen.

The meta-dacitic rock comprises sheds of muscovite set in a granoblastic mosaic of quartz and subordinate albite. Epidote granules are common, and isolated clusters of chlorite flakes may be pseudomorphs after amphibole. The quartz-muscovite metatuffaceous schist carries accessory quantities of epidote, brown tourmaline and opaque grains.

The meta-volcanic rocks suggest a schistose pre-cursor to the epidote skarn.

Chemical analyses of skarn rocks from the Urcucocha, Río Quijos and Rio Oyacachi were made by ACME Laboratories of Vancouver, sponsored by B. P. Minerals International. As with the Rio Mulatos - Llanganates analyses, the major element figures look suspiciously low. For instance, epidote rocks from Urcucocha gave results of 0.94-2.49 % Al, 1.75-6.32% Ca and 1.36-4.65 % Fe. Even so, bearing this in mind, maximun recorded metal contents are given as :-

	Urcucocha	Rio Quijos	Rio Oyacachi
Fe %	4.65	9.15	7.88
Mn ppm	1604	1521	3918
Co ppm	23	236	14
Ni ppm	53	46	22
Ca ppm	49	12	114
Zn ppm	578	45	297
Cd ppm	1	2	1
Pb ppm	20	30	17
Ag ppm	0.4	0.4	0.4
As ppm	12	78	18
Sb ppm	5	6	13
Bi ppm	3	5	14
W ppm	3	5	14
Au ppb	43	24	3

These figures are genrally lower than those for the Llanganates suite, and give little encouragement from the economic point of view. However, Mo shows significant if perhaps isolated enrichment in two of the Urcucocha samples: MP-514A, 5092 ppm Mo; MP-514B, 3383 ppm Mo. The thin section of one of these specimens shows it to be massive, fine-grained epidote skarn in which platy opaque grains are associated with hairline veinlets of carbonate. Mo enrichment is thus associated with retrograde alteration of the skarn.

Rio Quijos

Dr Litherland considers that blocks of skarn in this river may be derived from parts of the Urcucocha skarn field. Six specimens were examined. The lithologies are distinct from the Urcucocha outcrop specimens already described. Four are grossular skarns with interstitial quartz. In these a late retrograde mineral assemblage of apple green hornblende, epidote, quartz, carbonate and opaque granules occurs at interstices and grain boundaries of the garnet fabric, in hairline fractures, and locally as patchy garnet alteration.

One specimen is a banded rock. The thin section shows three bands, one rich in 2-3 mm wide opaque porphyroblasts (probably of pyrite) set in granoblastic quartz-epidote-amphibole (pale blue-green actinolitic hornblende). The second band is pale and quartz-rich with epidote, amphibole and accessory titanite. The third consists of fine, granoblastic epidote and quartz with minor amphibole and accessory apatite.

The last specimen consists of a massive, coarsely intergrown hornblende and epidote, accompanied by 3-4 % of disseminated opaque grains (?magnetite) and minor amounts of quartz and apatite. In one part of the section this assemblage is accompanied also by 2-3 mm wide replacive patches of clear calcite.

Taken together with Urcucocha, the Rio Quijos suite indicates a skarn field in which grandite skarn and epidote-amphibole rock are the dominant rock types, occuring in a sequence which also includes acidic metavolcanic schists.

Analyses of this group of samples have already been discussed, and do not show evidence of significant metal enrichment.

Oyacachi

Thin sections of seven specimens from blocks derived from a skarn field in the Oyacachi area were examined. Most of them are moderately metasomatised schists, but one is an epidotised breccia and another is a skarn.

The schists can be subdivided into feldspathic metavolcanic rocks and wollastonite-bearing rocks possibly derived from metamorphosed calcareous pelites. Three thin sections of feldspathic schist each display a complex pattern of metasomatic alteration. The pre-existing rock was made up of lenticles of quartz and feldspar probably interposed with micaceous laminae. The feldspar includes both orthoclase and albite. In one specimen isolated minute patches of myrmekitic intergrowth are present. Fine grained red-brown biotite has replaced much of the original micaceous laminae and also occurs as swarms of microscopic flakes grown inside feldspar crystals. The biotite is accompanied by opaque grains, rutile granules a very pale green muscovite. The biotitic alteration occurs intermingled with bands and lenses of fine grained hedenbergite. In one of the sections hedenbergite occurs interposed with area of untwinned feldspar mosaic accompanied by minute interstitial pockets of what I interpret as prehnite. Another of the sections shows remnants of feldspathic schist among bands and lenticles of fine grained hedenbergite and weakly birefringent grandite.

The metasedimentary schists are dominated by granoblastic quartz mosaic in which the schistose fabric is picked out by foliae of opaque, probably hematitic or carbonaceous material. These rocks contain an abundance of blocky wollastonite porphyroblasts accompanied by minor muscovite. The wollastonite crystals look deformed and slightly dismembered, sometimes being sited in small ovoid areas of clear quartz. They are probably of syn-metamorphic/syn-kinematic origin.

In the breccia,.clasts of fine to medium grained semi-massive epidote-quartz rock, with minor carbonate, are set in a matrix of granoblastic quartz-carbonate mosaic. No schistose fabric was recorded, but it is possible that both brecciation and epidotisation took place during skarn alteration and thus after the regional metamorphism.

In the skarn specimen, coarse pale pink garnet crystals areinterspersed with areas of quartz mosaic and areas in which fine

grained hedenbergite and epidote coexist. Spongy poikilitic carbonate crystals have formed by partial replacement of all these minerals.

Sara Urco

Seven thin sections of specimens from this skarn field, sited a considerable distance NNE of the Llanganates area, were examined. All of them are skarns with the single exception of a quartz-feldspar rock with moderate clinozoisite alteration. All of the skarn specimens have a massive character in which relicts of pale pink garnet remain after a complex process of alteration. Fine grained intergrown hedenbergite and epidote are considered here to have formed to some extent after the garnet, which they are seen to partially replace. Minor quantities of fine grained ferrohastingstite and deep brown biotite or stilpnomelane are locally concentrated on trails indicating growth along fractures in the pyroxenic mosaic. Spongy, coarse carbonate crystals enclose and partially replace all the earlier formed minerals, and are the dominant component in one of the specimens. The proportion of hedenbergile to epidote varies widely. Thus the pyroxene is effectively absent from two of the specimens, while epidote was not recorded from one.

In one of the skarn rocks (MP-615), the alteration pattern is quite different. A very coarse garnet aggregate is cut by veinlets of what may be prehnite. The next stage of alteration is marked by deposition of green biotite, actinolite and chlorite on shears which cut across the rock. Later still, carbonate was deposited extensively, along the pre-existing veinlets and by occupying additional fractures in the garnet. The garnet crystals have been intensely fractured. The rock can be interpreted in terms of intense brittle fracturing, possibly a percussive process, before being further disrupted by shearing. During this process, metasomatic alteration progressed from prehnite to biotite-actinolite. Carbonate deposition was later, exploiting the pre-existing structure and accompanied by retrograde chloritisation of the amphibole.

The remaining specimen (MP-554C) consists of a medium grained mosaic of quartz and strongly clouded albite grains, accompanied by abundant clinozoisite grains and disseminated opaque grains. Some of the latter have cuboid forms indicative of pyrite.

Discussion

As previously pointed out by Dr Litherland in the Project Rrports, variation in skarn mineralogy reflectss variety in the original protolith. Moreover, as Williams observes, the skarn alteration process obliterates earlier textures, but from partially altered rocks it is apparent that the skarns formed after regional kinematic metamorphism. The protolith was a sequence of metavolcanic and metasedimentary rocks of low to medium metamorphic grade. Acidic

metavolcanics are preserved as feldspathic schists, and basic varieties may be represented by actinolitic schists described by Williams from the Llanganates area. Sedimentary varieties include impure marbles at Llanganates and wollastonite-schists at Sara Urco. Within the skarns themselves, controls of the mineralogy may include temperature and redox potential as well as composition of the protolith. Variation in the permeability of the original schists could control rates of fluid movement during the metasomatism, providing an additional factor that could affect reaction rates, temperature, chemical gradients and other parameters. These considerations emphasise the degree to which skarnification must be seen as a complex process of reaction between the protolith and migrating metasomatic fluid.

Skarnification is dominated by formation of calc-silicate minerals and, more rarely, magnesium silicates and tourmaline. Fluids defficient in CO_2 and SO_2 brought about Ca, Mg and B metasomatism. In addition, local biotitic alteration indicates a degree of K metasomatism.

Local moderate molybdenite enrichment (to 5000 ppm Mo in epidote skarn from Urcucocha) is the only real confirmation of economic potential which can be seen in the present data. Texturally, the pale pink, generally isotropic garnet crystals are distinct from those in the Nambija auriferous mineralisation. Adularia is very rare. However, a degree of calcitic retrograde alteration is generally present throughout these skarns, and so there remains the possibility of currently undiscovered areas within them of metalliferous mineralisation.

Perhaps the main question posed by these skarns is the reason for their regional extent. Skarns are associated with situations in which metasomatism is concentrated by structures such as cuspate intrusion-country rock contacts or fracture zones associated with high level acid-intermediate intrusions. In the present case, possible controls could be a series of small plutons, sites along the margin of a batholithic body, or sites on faulted intrusion margins developed during or soon after emplacement of the intrusion/s.

APPENDIX 5a - 5c

PALAEONTOLOGICAL STUDIES

APENDICE 5a - 5c

ESTUDIOS PALEONTOLOGICOS

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY
Natural Environment Research Council

Appendix 5A
APENDICE 5a

TECHNICAL REPORT

Stratigraphy Series

Report WH/89/361 R

A palynological investigation of
nine rock samples from Ecuador
(Maguazo subdivision - Cuenca to Paute road)

J B Riding

Biostratigraphy Research Group Report PD 89/333

Geographical index

Ecuador

Subject index

Palynomorphs
Biostratigraphy

Keyworth, Nottinghamshire British Geological Survey

WH/89/361R
PD/89/333
Ecuador

Copies to: 1. A J Aspden
2. J D Bennett
3. B Owens
4. Biostratigraphy Research Group Files

A palynological investigation of nine rock samples from Ecuador

Samples submitted by : A J Aspden/J D Bennett
Preparation by : K L Kirby
Examination by : J B Riding

1. INTRODUCTION

Nine rock samples from Ecuador were submitted for palynological analyses in order to attempt detailed age determinations. No geographical co-ordinates were supplied; the lithologies of the samples were largely black/grey phyllites.

2. SAMPLE DETAILS

No	BRG Registration No	Collection No	Result +/-
1	MPA 30725	A - P 01	+
2	30726	A - P 02	+
3	30727	A - P 03	-
4	30728	A - P 04	-
5	30729	A - P 05	+
6	30730	A - P 06	-
7	30731	A - P 07	+
8	30732	A - P 08	-
9	30733	TAMPANCHI 01	-

3. PALYNOSTRATIGRAPHY

Appendix 1 lists all the palynomorphs identified in the course of this investigation.

The samples yielded very sparse associations of palynomorphs with numbers 3, 4, 6, 8 and 9 being entirely barren. The indeterminate and non age diagnostic nature of the palynofloras in samples 5 and 7 respectively means that age determinations are not possible on these horizons.

The pollen florules in samples 1 and 2 are indicative of a broad Jurassic/Cretaceous age. *Perinopollenites elatoides* is confined to the latter systems and *Classopollis classoides* is typically Mesozoic. The presence of the dinoflagellate cyst *Sirmiodinium grossii* in sample 1 is indicative of a Mid Jurassic (uppermost Bathonian) to Early Cretaceous (late Barremian) age, if the single specimen recovered is in situ. Two palynomorphs, tentatively assigned to "?acritarch indet" were also recovered from sample 1. The preservation and level of organic maturity are significantly different to the remainder of the florule. These forms may represent the reworking of ?Lower Palaeozoic material, similar to the situation found in a sample from the Maguazo Division, Rio Jadan, Ecuador (see WH/88/347R).

The dark nature of the kerogen macerals is suggestive of a relatively high thermal alteration index.

J B Riding

6 October 1989

APPENDIX 1

List of palynomorphs recovered

1. (A-P 01)

Pteridophyte spores - indet
pollen - indet
Perinopollenites elatoides (pollen)
Sirmiodinium grossii (dinoflagellate cyst)
?acritarch - indet

2. (A-P 02)

Classopollis classoides (pollen)
?*P. elatoides*

5. (A-P 05)

pollen indet

7. (A-P 07)

bisaccate pollen

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY
Natural Environment Research Council

Appendix 5b
APENDICE 5b

TECHNICAL REPORT

Stratigraphy Series

Report WH/89/354 R

A palynological investigation of
six rock samples from Ecuador.
(Chiguinda subdivision)

J B Riding

Biostratigraphy Research Group Report PD 89/326

Geographical index

Ecuador

Subject index

Palynomorphs
Biostratigraphy
Mesozoic

Keyworth, Nottinghamshire British Geological Survey

WH/89/354R
PD/89/326
Ecuador

Copies to: 1. A J Aspden
2. J D Bennett
3. B Owens
4. Biostratigraphy Research Group Files

A palynological investigation of six rock samples from Ecuador

Samples submitted by : A J Aspden
Preparation by : K L Kirby
Examination by : J B Riding

1. INTRODUCTION

Six rock samples from Ecuador were submitted for palynological analyses in order to attempt detailed age assessments. No geographical co-ordinates of the locality(s) sampled were given, the lithologies were chiefly dark grey/black phyllites.

2. SAMPLE DETAILS

No	BRG Registration No	Field Collection No	Result (+/-)
1	MPA 31171	CR. FV733	-
2	MPA 31172	CR. FV739	+
3	MPA 31173	CR. FV746	-
4	MPA 31174	CR. FV863A	+
5	MPA 31175	CR. FV863B	+
6	MPA 31176	L. D1	+

3. PALYNOSTRATIGRAPHY

All samples yielded sparse acid-resistant residues which were relatively rich in residual mineral grains with lesser proportions of dark woody tissue. Palynomorphs proved extremely rare, samples 1 and 3 being entirely devoid of sporopollenin microfossils. Appendix 1 lists the palynofloras recovered from samples 2, 4, 5 and 6.

Because of the indeterminate nature of the palynofloras in samples 2 and 5, no comment can be made on the age of these horizons. The occurrence of *Perinopollenites elatoides* in sample 4 is suggestive of the Jurassic/Cretaceous interval. It is a relatively long-ranging taxon from the Early Jurassic to the Cretaceous; its precise range top is not known.

The single spore in sample 6 was tentatively identified as *Uvaesporites* sp. This genus is well represented from the Mid Jurassic to Early Cretaceous of Europe, thus this spore suggests a Mesozoic age for L.D1.

In conclusion, therefore, the very limited evidence from samples 4 and 6 is suggestive of a broad Jurassic/Cretaceous age, providing the specimens recovered are indigenous.

No marine microplankton was recovered and the nature of the kerogen assemblages indicates a relatively high level of thermal maturation.

J B Riding
3 October 1989

APPENDIX 1

List of palynomorphs

Sample 2 (CR. FV739)

pteridophyte spore - indeterminate

Sample 4 (CR. FV863A)

?*Cyathidites* sp. (spore)
Perinopollenites elatoides (pollen)

Sample 5 (CR. FV863B)

pollen grain - indeterminate

Sample 6 (L. D1)

pollen grains - indeterminate
?*Uvaesporites* sp. (spore)

Appendix 5c
APENDICE 5c

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY
Natural Environment Research Council

TECHNICAL REPORT

Stratigraphy Series

Report WH/90/54R

Report on fossil fish from
Laguno de Atillo, Ecuador

Dr C. Patterson
Natural History Museum, London

Stratigraphy & Tectonics Group Report PD 90/50

Geographical index

Ecuador

Subject index

Pisces
Tertiary
Biostratigraphy

Keyworth, Nottinghamshire British Geological Survey

REPORT ON FOSSIL FISH FROM LAGUNA DE ATILLO, ECUADOR

The single specimen (CRFV 855) is the front half of a teleost fish preserved as a carbonaceous or bituminous film, presumably through post-depositional "cooking". The head and dentition are reasonably well preserved and are enough to identify the fish as a member of the subfamily Characinae of the family Characidae (order Characiformes). Characiforms are exclusively freshwater and characins are endemic to South America. The Characinae are a very large group including about 150 living genera and almost 700 living species. Since the fossil is incomplete and also appears to lack scales and most of the fins (through post-mortem damage), it is very unlikely that it could be assigned to a genus with any confidence. "Cf. Brycon" is the furthest my colleague Gordon Howes (who has reviewed that genus, Howes 1982) would go.

Although characins dominate the rivers and lakes of South America, they are surprisingly rare as fossils. The fossil record of characiforms is reviewed by Weitzman (1960a,b) and Gayet (1982). The currently accepted stratigraphic range of characins in South America is Maestrichtian (Gayet 1982, Marshall et al. 1985) to Pleistocene. However, the age of the supposedly Maestrichtian deposits (which include the oldest known mammals from South America) has been questioned by Van Valen (1988), who infers that they are early Palaeocene; I would agree. In Ecuador, six taxa of characiforms have been described from the Miocene Loyola and Mangán Formations in the Cuenca Basin, to the south of the present locality (Bristow 1973, Roberts 1975). Apart from one "nearly complete" fish recorded by Bristow (1973:27) as "cf. Moenkhausia" (a small characin, identification by P.H.Greenwood, BM(NH)), all are based on isolated teeth. The teeth of the present specimen are similar to

those illustrated by Roberts (1975:fig.2) as "cf. Tetragonopterinae," but these multicuspid teeth are probably primitive for characiforms as a whole (Fink & Fink 1981:306), and Tetragonopterinae is merely a name for primitive characins.

In summary, the most that one could say from the present specimen is that the deposit is freshwater, and that the age is Tertiary.

REFERENCES

Bristow, C.R. 1973. Guide to the geology of the Cuenca Basin, southern Ecuador. Quito: Ecuadorian Geological and Geophysical Society.

Fink, S.V. & Fink, W.L. 1981. Interrelationships of the ostariophysan fishes (Teleostei). Zool. J. Linn. Soc. Lond. **72**: 297-353.

Gayet, M. 1982. Découverte dans le Crétacé de Bolivie des plus anciens Characiformes connus. C.r. Acad. Sci. Paris (II) **294**:1037-1040.

Howes, G.J. 1982. Review of the genus Brycon. Bull. Br. Mus. nat. Hist. (Zool.). **43**:1-47.

Marshall, L.G., de Muizon, C., Gayet, M., Lavenu, A. & Sigé, B. 1985. The "Rosetta Stone"for mammalian evolution in South America. Nat. geogr. Res. **1**:274-288.

Roberts, T.R. 1975. Characoid fish teeth from Miocene deposits in the Cuenca Basin, Ecuador. J. Zool, Lond. **175**:259-271.

Van Valen, L.M. 1988. Paleocene dinosaurs or Cretaceous ungulates in South America ? Evolut. Monogr. **10**:1-79.

Weitzman, S.H. 1960a. The systematic position of Piton's presumed characid fishes from the Eocene of central France. Stanf. ichthyol. Bull. 7:114-123.

Weitzman, S.H. 1960b. Further notes on characid fossils. Stanf. ichthyol. Bull. 7:215-216.

Colin Patterson

British Museum (Natural History), London SW7 5BD.

19 January 1990

APPENDIX 6a - 6b

GEOCHEMICAL STUDIES STREAM SEDIMENT/ROCK ANALYSES

APENDICE 6a - 6b

ESTUDIOS GEOQUIMICOS DE SEDIMENTOS FLUVIALES Y ANALISIS DE ROCAS

Appendix 6a

APENDICE 6a

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE ANALISIS QUIMICOS

Nº DE LAB : 4004
Nº DE MUESTRAS : 4 (cuatro) (ROCAS)
PROCEDENCIA : Napo Sarahurco
SOLICITADO POR : Ing. Miguel Pozo
PROYECTO : Cordillera REal

ENTREGA : Ing. Iván Endara FECHA 89-05-05
JEFE DE LABORATORIOS

RECEPCION : Ing. Marco Marín FECHA 89-05-18
DIRECTOR DE INVESTIGACION GEOLOGICA

D E T E R M I N A C I O N E S

CODIGO MUESTRA	Zn ppm	Pb ppm	Co ppm	Cu ppm	Ag ppm	Ni ppm	Au ppm	Mo ppm	As ppm
553 - K	452	238	97	18	10	66	Nd	Nd	100
553 - L.1	1183	176	78	773	13	1736	0.2	Nd	105
507 - B	119	101	55	13	6	104	Nd	25	165
509 - B	236	121	31	80	8	610	Nd	20	160

Nd = No detectable, menor que 0.1 ppm. de Au. y 16 ppm. de Mo.

REALIZADO POR : Determinaciones Analíticas.

Susana Jaramillo A.
JEFE DE DETERMINACIONES ANALITICAS

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE ANALISIS QUIMICOS

Nº DE LAB : 4030
Nº DE MUESTRAS : 5 (cinco)
PROCEDENCIA : Las Juntas Loja
SOLICITADO POR : Ing. Francisco Viteri
PROYECTO : Cordillera Real

ENTREGA : Ing. Iván Endara FECHA 89-06-29
JEFE DE LABORATORIOS

RECEPCION : Ing. Marco Marín FECHA 89-06-30
DIRECTOR DE INVESTIGACION

Nota :- A254F → A262F son fluviales
A169R es roca

DETERMINACIONES

CODIGO MUESTRA	Zn ppm	Pb ppm	Cu ppm	Ag ppm	Ni ppm	Cr ppm	W ppm	Sn ppm	As ppm	Mo ppm
A 254 F	56	64	15	7	Nd	9	Nd		30	Nd
A 256 F	49	85	18	1	Nd	12	Nd		30	Nd
A 257 F	45	101	20	3	Nd	34	Nd		48	Nd
A 262 F	60	107	23	1	Nd	8	Nd		22	Nd
A 169 R *	68	134	6	1	Nd	Nd	Nd	Nd	46	Nd

Nd = No detectable, menor que 6 ppm. de Ni. y Cr.; menor que 16 ppm. de Sn., W. y Mo.

REALIZADO POR : Determinaciones Analíticas.

Susana Salcedo A.
JEFE DE DETERMINACIONES ANALITICAS

See Map 3 for locations
Ver Map 3 para la ubicacion de las muestras

* Kaolinised granite – Tres Lagunas subdivision
Granito con caolin – Subdivision de Tres Lagunas

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE ANALISIS QUIMICOS

Nº DE LAB : 4066
Nº DE MUESTRAS : 17 (diecisiete) (FLUVIALES)
PROCEDENCIA : Varios
SOLICITADO POR : Ing. Francisco Viteri
PROYECTO : Cordillera Real

ENTREGA : Ing. Iván Endara FECHA 89-05-17
JEFE DE LABORATORIOS

RECEPCION : Ing. Marco Marín FECHA 89-05-22
DIRECTOR DE INVESTIGACION GEOLOGICA

D E T E R M I N A C I O N E S

CODIGO MUESTRA	MnO %	TiO_2 %	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	Zn ppm	Pb ppm	Co ppm	V ppm	Cu ppm	Ag ppm	Ni ppm	Cr ppm
A-263F	0.08	0.87	8.88	13.59	76	157	44	189	90	4	49	24
268F	0.03	0.44	1.57	4.48	27	17	5	17	7	Nd	27	Nd
271F	0.06	0.79	6.25	11.77	145	107	27	131	39	Nd	42	28
272F	0.05	0.81	5.55	12.18	147	107	29	110	43	5	71	51
275F	0.05	1.43	3.83	6.96	65	70	23	21	28	6	81	41
277F	0.06	0.69	5.93	14.34	136	132	26	108	63	5	48	25
279A	0.10	1.08	16.37	12.53	78	143	42	301	50	9	61	50
279B	0.10	1.10	18.03	12.43	98	153	46	351	42	12	68	62
279C	0.10	1.07	16.10	12.49	75	150	46	368	49	7	65	43
279D	0.09	0.99	15.02	12.24	85	166	50	328	50	10	72	54
279E	0.10	0.87	9.53	14.64	88	144	32	207	55	1	62	Nd
279F	0.09	0.85	9.67	14.41	86	132	36	232	56	Nd	36	Nd
279G	0.09	0.87	10.21	13.58	100	136	38	221	69	1	67	Nd
279H	0.09	0.80	9.17	12.72	87	132	37	215	57	1	47	4
279I	0.10	1.08	14.51	14.37	80	137	37	277	45	1	44	10
279J	0.10	1.02	14.44	13.39	79	138	40	307	49	2	56	15
279K	0.10	1.06	15.15	13.41	74	144	40	320	52	2	47	12

Duplicate samples Rio Chicaña

Nd = No detectable, menor que 1 ppm. de Ag y Cr.
REALIZADO POR : Determinaciones Analíticas.

See Map 4 for sample locations

Ver Mapa 4 para la ubicacion de las muestras

Susana Salvador A.
JEFE DE DETERMINACIONES ANALITICAS

Nota : Resultados de As, serán reportados posteriormente.

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA
DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS
REPORTE DE ANALISIS QUIMICOS

Nº DE LAB : 4066
Nº DE MUESTRAS : 17 (FLUVIALES)
PROCEDENCIA : Varios, Varios.
SOLICITADO POR : Ing. Francisco Viteri
PROYECTO : Cordillera Real.

ENTREGA : Ing. Iván Endara FECHA 83-08-31
JEFE DE LABORATORIOS

RECEPCION: Ing. Marco Marín FECHA 89-09-04
DIRECTOR DE INVESTIGACION GEOLOGICA

D E T E R M I N A C I O N E S

CODIGO MUESTRA	As ppm
A 263-F	170
A 268-F	145
A 271-F	180
A 272-F	145
A 275-F	145
A 277-F	150
A 279-A	120
279-B	105
279-C	120
279-D	100
279-E	100
279-F	160
279-G	120
279-H	125
279-I	100
279-J	95
279-K	120

Duplicate samples Rio Chicaña

Realizado por Determinaciones Analíticas.

Susana Navedo R.
JEFE DE DETERMINACIONES ANALITICAS.

See Map 4 for sample locations
Ver Mapa 4 para la ubicación de las muestras

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE ANALISIS QUIMICOS

Nº DE LAB : 4097
Nº DE MUESTRAS : 5 rocas
PROCEDENCIA : Varias
SOLICITADO POR : Dr. Martín Litherland
PROYECTO : Cordillera Real

ENTREGA : Ing. Iván Endara FECHA 89-11-01
JEFE DE LABORATORIOS

RECEPCION : Ing. Marco Marín FECHA 89-11-06
DIRECTOR DE INVESTIGACION GEOLOGICA

D E T E R M I N A C I O N E S

CODIGO MUESTRA	Au ppm	Zn ppm	Ag ppm	Pb ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Fe %
MC 630	Nd	100	Nd	58	56	176	150	4.66
635	Nd	56	Nd	76	40	300	20	2.10
637	Nd	154	Nd	82	112	334	26	19.95
638	Nd	116	Nd	98	48	362	24	7.46
639	Nd	114	Nd	76	42	280	16	3.04

Nd = No detectable, menor que 1 ppm de Ag. y 0.1 ppm de Au.

REALIZADO POR : Determinaciones Analíticas.

Susana Salvador A.
JEFE DE DETERMINACIONES ANALITICAS

Nota : Resultados de Mo y Cr, solicitados con este Lab, serán reportados posteriormente.

INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA

DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE ANALISIS QUIMICOS

Nº DE LAB : 4177
Nº DE MUESTRAS : 20 (veinte)
PROCEDENCIA : Varios (FLUVIALES)
SOLICITADO POR : Ing. Ramiro Bermúdez
PROYECTO : P. Cord. Real

ENTREGA : Ing. Iván Endara FECHA 90-03-01
JEFE DE LABORATORIOS

RECEPCION : Ing. Marco Marín FECHA 90-03-12
DIRECTOR DE INVESTIGACION GEOLOGICA

D E T E R M I N A C I O N E S

CODIGO MUESTRA	Ag ppm	Pb ppm	Cu ppm	Co ppm	Ni ppm	
CRRB - 191 F	Nd	66	74	44	80	R. Tutnangosa R. Ojal
192 F	Nd	60	84	52	98	
193 F	Nd	78	106	50	78	
194 F	Nd	58	54	42	64	
195 F	Nd	52	70	48	80	
CRML - 136 F	Nd	52	32	46	76	Zona de R. Confanes y R. Chingual
137 F	Nd	66	40	40	66	
138 F	Nd	44	44	40	52	
139 F	Nd	46	36	38	60	
140 F	Nd	50	30	48	94	
141 F	Nd	96	40	46	96	
142 F	Nd	50	36	42	70	
143 F	Nd	52	68	50	80	
144 F	Nd	42	42	44	68	
145 F	Nd	58	44	44	78	
146 F	Nd	60	68	48	78	
147 F	Nd	76	76	44	60	
148 F	Nd	54	68	46	52	
149 F	Nd	48	38	34	60	
150 F	Nd	56	48	38	60	

Nd = No detectable, menor que 2 ppm de Ag.
REALIZADO POR : Determinaciones Analíticas.

CRRB 191F-195F	See Map 7 for sample locations
	Ver Mapa 7 para la ubicación de las muestras
CRML 136F-150F	See Map 2 for sample locations
	Ver Mapa 2 para la ubicación de las muestras

Susana Jahrada A.
JEFE DE DETERMINACIONES ANALITICAS

Nota : Por causas de fuerza mayor, no se pueden reportar por el momento resultados de: As-Zn-V-Mo-Cr-W.

Location and brief descriptions of mineralised rock samples in Appendix 6A

(Ubicacion y descripciones breves de muestras de rocas mineralizadas en Apéndice 6A)

553 K	Mineralised block of ?metalava, Sara Urco (1717 99888)
553 L.1	Mineralised block with pyrite, Sara Urco (1717 99888)
607 B	Pyritic Napo Fm., Río Cascabel, west bank tributary of Río Salado (Map 7, in Litherland, 1989)
609 B	Mineralised (pyrite) porphyry outcrop, Río Salado (Map 7, in Litherland, 1989)
A169	Kaolinised ?Tres Lagunas granite with minor galena (Map 3, Oñacapa to Yacuambi traverse)
MC630	?Metabasalt outcrop, Río Blanco de Patate
MC635	Calc-arenite float, Río Blanco de Patate
MC637	Magnetite skarn float, Río Verde (7990 98467)
MC638	Magnetite-epidote skarn outcrop, Río Verde skarnfield (7990 98467)
MC639	Magnetite epidote skarn outcrop, Río Verde skarnfield (7990 98467)

Sample ID	ppm AG	ppm AS	ppm BI	ppm CD	ppm CO	ppm CR	ppm CU	% FE	ppm MO	ppm NI	ppm PB	ppm SB	ppm SN	ppm TH	ppm U_	ppm V_	ppm W_	ppm ZN
CR FV 908	5	< 20	< 1	< 2	12	123	51	4.11	< 5	15	3170	< 20	< 1	38	2	47	< 1	42
CR RB 180A	< 1	< 20	< 1	< 2	< 5	189	7	0.48	< 5	< 5	62	< 20	< 1	< 1	7	7	< 1	8
CR MP 462B/C	< 1	< 20	< 1	< 2	24	313	41	7.66	7	41	19	< 20	2	27	4	244	2	100
CR MP 462 D	< 1	< 20	< 1	< 2	10	278	10	2.06	< 5	14	31	< 20	1	11	3	47	3	48
CR MC 640 B	< 1	167	< 1	< 2	44	1410	10	3.04	< 5	665	15	< 20	3	2	< 1	29	< 1	173
CR MC 642 B	< 1	< 20	< 1	< 2	15	244	13	4.48	< 5	37	35	< 20	17	< 1	4	103	< 1	248
CR MC 643 B	< 1	< 20	< 1	< 2	< 5	239	2	0.53	< 5	7	15	< 20	33	< 1	13	3	< 1	81
CR MC 644 G	< 1	< 20	< 1	< 2	< 5	363	7	1.14	< 5	9	25	< 20	11	< 1	8	4	3	288
CR MC 644 C	< 1	< 20	< 1	< 2	< 5	254	3	0.38	< 5	6	9	< 20	3	13	4	3	< 1	80
CR MC 645 B	< 1	< 20	< 1	< 2	< 5	469	10	1.71	< 5	9	30	< 20	< 1	4	2	22	1	236
CR MC 652 B	< 1	< 20	< 1	< 2	< 5	347	32	1.85	< 5	6	29	< 20	< 1	2	3	33	2	478
CR MC 653 A	1	< 20	< 1	< 2	< 5	286	1510	1.66	< 5	5	18	< 20	< 1	3	19	28	3	332
CR FV 757 A	< 1	< 20	< 1	< 2	24	148	10	5.78	7	5	8	< 20	2	5	3	242	5	47
CR FV 770	< 1	< 20	< 1	6	24	74	55	8.56	< 5	7	38	32	4	1	< 1	300	< 1	633

ANALYSES FROM CALEB - BRETT ST. HELENS, U K (GREENWICH RESOURCES)

Appendix 66

APENDICE 6b

File (142)

Envío de Feb 8/90
RTZ - 137-90

Rio Tinto Espana - Ecuador File # 90-0453

Box 21-128 Calle Hugo Moncayo 527 y Sarmiento, Quito Ecuador South America Submitted by: EDGAR SALAZAR

ANALYSES FROM ACME LABORATORIES VANCOUVER CANADA

	SAMPLE#	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	U ppm	Au ppm	Th ppm	Sr ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	V ppm	Ca %	P %	La ppm	Cr ppm	Mg %	Ba ppm	Ti %	B ppm	Al %	Na %	K %	W ppm	Au** ppb
Cofanes	M-659A	1	33	28	44	.4	1549	78	515	4.44	84	5	ND	1	43	1	11	2	30	.97	.006	2	2216	11.91	3	.01	3	.65	.01	.01	1	4
	M-659B	1	17	46	41	.4	1083	54	379	2.94	8	5	ND	1	1	1	10	2	13	.02	.005	2	670	12.81	1	.01	6	.45	.01	.01	1	15
	M-659E	2	5	14	41	.1	27	2	308	.63	2	5	ND	3	18	2	2	2	29	2.80	.074	6	56	.29	11	.04	2	.67	.02	.01	1	5
	M-659F	29	269	3	139	.3	70	13	252	2.45	3	5	ND	1	8	3	2	2	86	.77	.059	2	48	.57	24	.13	2	.60	.05	.15	1	39
	M-660B	1	41	5	53	.1	23	18	452	4.13	4	5	ND	1	18	1	2	2	79	1.78	.123	4	71	1.66	7	.23	2	1.63	.07	.09	1	7
	M-662	1	48	13	84	.1	15	22	513	3.26	2	5	ND	1	7	1	2	2	62	.59	.074	2	49	1.67	441	.26	2	1.91	.05	1.08	2	6
	M-666A	1	23	16	18	.1	32	21	362	2.33	6	5	ND	1	33	1	2	2	45	4.73	.244	2	70	.37	4	.10	3	1.00	.01	.01	1	8
	M-666B	1	16	19	84	.1	31	4	258	.96	20	5	ND	2	169	1	7	2	34	14.69	.111	9	20	.17	76	.08	103	2.91	.01	.09	1	7
	M-667B	1	13	34	97	.1	15	9	349	1.70	12	5	ND	3	68	1	2	3	31	1.33	.100	11	26	.18	27	.15	4	.48	.04	.14	1	3
	M-667C	24	692	25	38748	2.0	64	79	537	11.07	80	5	ND	2	140	494	22	3	30	13.14	.186	19	32	.21	2	.09	521	1.89	.01	.01	1	14
	M-667D	3	43	21	244	.6	18	6	1286	5.82	8	5	ND	1	234	3	2	2	63	7.91	.003	2	49	.21	5	.13	5	2.16	.01	.01	2	4
	M-668	7	1308	9	1211	.5	27	7	196	2.83	7	6	ND	12	31	17	2	2	15	.73	.031	5	16	.31	19	.06	18	.62	.02	.16	1	14
	M-677	1	30	2	74	.3	1613	79	394	3.89	56	5	ND	1	12	2	4	4	11	.30	.009	2	971	16.12	5	.01	10	.27	.01	.01	1	9

DATE RECEIVED: FEB 20 1990 DATE REPORT MAILED: March 1/90 SIGNED BY. ..... D.TOYE, C.LEONG, J.WANG; CERTIFIED B.C. ASSAYERS

ASSAY RECOMMENDED for Cu, Pb, Zn, As >1%
As > 30 ppm

SAMPLE	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	U ppm	Au ppm	Th ppm	Sr ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	V ppm	Ca %	P %	La ppm	Cr ppm	Mg %	Ba ppm	Ti %	B ppm	Al %	Na %	K %	W ppm	Au ppb
RB 159 A	1	11	37	110	.1	12	9	2996	2.38	4	5	ND	4	184	11	2	2	31	29.63	.039	6	12	.61	58	.01	3	1.18	.03	.06	1	2
MP 462B	3	20	7	96	.1	20	10	123	2.77	2	5	ND	16	12	1	2	2	27	.39	.021	33	23	.82	42	.01	2	1.72	.08	.15	1	8
CRMP 553B	1	2	4	18	.1	3	1	1823	.94	2	5	ND	1	59	1	2	2	12	13.65	.001	2	5	.04	11	.07	2	.71	.01	.02	1	5
MP 553D.1	1	357	18	113	.3	10	35	4609	6.85	16	5	ND	1	141	1	2	3	23	13.20	.077	2	8	.53	57	.06	2	1.76	.02	.14	1	18
CRMP 553D.2	1	234	5	591	.5	6	59	1649	45.48	28	5	ND	3	7	3	2	13	8	2.42	.009	2	6	.01	6	.01	2	.29	.01	.02	1	14
MP 554 C	556	85	16	75	.1	277	15	525	4.25	5	5	ND	3	83	1	2	2	143	4.75	.348	19	38	.25	49	.13	2	1.10	.02	.03	4	6
MP 554 F	26	146	4	45	.1	84	17	1354	3.54	7	5	ND	30	35	1	2	2	37	1.95	.131	5	17	.06	9	.08	2	.71	.01	.02	1	29
MP 609	7	109	17	515	.1	8	9	234	3.01	3	5	ND	6	9	1	2	2	38	.29	.017	3	6	1.24	60	.09	2	1.11	.03	.13	1	8
MP 617	1	8	2	12	.1	2	7	1532	5.97	9	5	ND	1	21	1	2	2	37	9.51	.041	2	2	.05	3	.04	5	.22	.01	.01	7	2
STD C/AU-R	19	63	41	132	6.6	73	30	1024	3.85	39	18	7	37	52	19	14	21	60	.52	.088	39	56	.89	180	.07	33	1.91	.06	.14	12	528
CR-HL-677	8	120	64	7593	2.8	227	13	999	24.54	2	5	ND	1	61	110	4	6	70	3.62	.087	3	44	.76	21	.01	4	1.78	.02	.09	3	491
STD C/AU	18	57	42	131	6.8	67	30	949	3.97	44	20	7	37	47	19	15	23	57	.45	.093	37	55	.81	175	.06	38	1.77	.06	.14	11	510

ANALYSES FROM ACME LABORATORIES

VANCOUVER CANADA

Location and brief descriptions of mineralised rocks samples in Appendix 6 B

(Ubicación y descripciones breves de muestras de rocas mineralizadas en Apéndice 6B)

CRFV908	Sulphide-bearing quartz vein outcrop in Tres Lagunas subdivision on track from Alao to El Placer (7859 98036)
CRRB180A	Pegmatite float block Río Blanco near Pimampiro (1739 00367)
CRMP462B/C	Garnet granite float near Oyacachi (8280 99762)
CRMP462D	Garnet granite float near Oyacachi (8280 99762)
CRMC640B	Magnesite-veined, sheared serpentinite band (10 cm) with fuchsite. 100 m west of Río El Carmen bridge near Monte Olivo (1814 00435)
CRMC642B	Float block of gneiss with magnetite, Río Minas near San Gabriel
CRMC643B	Tourmaline pegmatite float, Quebrada Juan Ibarra, Río Minas
CRMC644C	Pegmatite/greisen float, Quebrada Juan Ibarra, Río Minas
CRMC644G	Pegmatite float, Quebrada Juan Ibarra, Río Minas
CRMC645B	Mineralised block quartzite outcrop near Ambuqui (1663 00492)
CRMC652B	Pegmatite with magnetite from Condue granite, float in Río San Jorge (1958 00415)
CRMC653A	Muscovite gneiss with disseminated Cu-mineralisation, float from Río Condue (1960 00415)
CRFV757A	Silicified ?porphyry float with disseminated sulphides from Río Cambana (7350 95983)
CRFV770	Float of ?silicified and epidotised volcanic with sulphides, Río Cantzama (7305 95739)
M-659A	Serpentinite float, Río Cofanes (2064 00425)
M-659B	Serpentinite float, Río Cofanes (2064 00425)
M-659E	Float of hornfelsed banded siliceous rock with garnet, Río Cofanes (2064 00425)
M-659F	Mylonitic ?granodiorite with pyrite/chalcopyrite, float Río Cofanes (2064 00425)
M-660B	Sheared greenstone float, Quebrada Pilares (2037 00362)

M-662	Mineralised mylonite granodiorite float, Quebrada La Dantina near La Bonita (2169 00505)
M-666A	Mineralised epidotised greenstone float, Río Palmar near Rosa Florida (2182 00460)
M-666B	Mineralised, fine grained, banded ?tuff with garnet (?hornfels). Float from Río Palmar near Rosa Florida (2182 00460)
M-667B	Mineralised fine grained volcanic float, Quebrada La Industria near Rosa Florida (2181 00454)
M667C	Mineralised (Zn-Cu) 2 cm layer in banded, fine grained, siliceous hornfels, Quebrada La Industria near Rosa Florida (2181 00454)
M667D	Epidote-rich (?skarn) float, Quebrada La Industria near Rosa Florida (2181 00454)
M-668	10 cm pyrite/chalcopyrite/epidote vein in quartz monzonite pluton Quebrada Las Juntas near Rosa Florida (2181 00446)
M-677	Serpentinite float, Río Huagracyacu near Baeza (8425 99477)
RB159A	Napo Fm., oolitic limestone outcrop, Río Mulatos
MP462B	Garnet granite float, Río Oyacachi (8280 99762)
CRMP553B	Calcic skarn block, Sara Urco (1717 99888)
MP553D.1	Pyritic skarn block, Sara Urco (1717 99888)
CRMP553D.2	Magnetite-rich block, Sara Urco (1717 99888)
MP554C	Mineralised garnet calc-silicate block, Sara Urco (1725 99888)
MP554F	Calcic skarn block, Sara Urco (1725 99888)
MP609	Mineralised (pyrite) porphyry outcrop related to Azafran intrusive phase, Río Salado (Map 7, in Litherland, 1989)
MP617	Skarn block, Río Diviso, tributary of Río Salado (Map 7, in Litherland, 1989)
CRHL677	Pyrite, chalcopyrite and sphalerite mineralised float from Río Quijos, Papallacta-Baeza road

APPENDIX 7a - 7b

SEMI-QUANTITATIVE STUDY OF HEAVY MINERAL CONCENTRATES AND PRELIMINARY XRF RESULTS

APENDICE 7a - 7b

ESTUDIO SEMICUANTITATIVO DE SEDIMENTOS PESADOS Y LOS RESULTADOS XRF

APPENDIX 7a
APENDICE 7a

No. 03179

Quito, abril 20, 1990

PARA: GERENTE TECNICO
DE: ING RAMIRO BERMUDEZ A.
ASUNTO: RESULTADOS DEL ESTUDIO POLIMINERAL SEMICUANTITATIVO DE SEDIMENTOS PESADOS DEL PROYECTO CORDILLERA REAL.

ANTECEDENTES

La Misión de Asistencia Técnica de Gran Bretaña-INEMIN, dentro de su programación de trabajo durante el período 1986-1990, recolectó alrededor de 320 muestras de sedimentos pesados las mismas que fueron tomadas en las diferentes geotravesías efectuadas en la Cordillera Real.

Cabe resaltar, que previamente al estudio efectué una pasantía en los laboratorios del Servicio Geológico de Gran Bretaña y Escocia, durante la cual me familiaricé con las técnicas de preparación e identificación de minerales pesados sobre todo de minerales económicos
para lo cual utilicé equipo no sofisticado como: imanes, lupa binocular, lámpara ultravioleta, microquímica, etc.

Así, los laboratorios del Instituto ubicados en Sta. Bárbara No.2Chillogallo, en especial el área encargada de estudios mineralométricos cuenta con el material básico para efectuar este tipo de estudio, sobre todo en lo que se refiere a la preparación del concentrado previo a su identificación.

Mi reconocimiento: al Sr Guillermo Erazo, quien colaboró en la preparación de las muestras; al Dr M. Litherland, Jefe de la Misión, quien decididamente brindó su apoyo a este mini proyecto de investigación.

El presente reporte, es una pequeña contribución al gran objetivo que persigue este proyecto: La determinación del potencial mineralógico de la Cordillera.

OBJETIVO

Efectuar el estudio polimineral semicuantitativo de 273 muestras de sedimentos pertenecientes al proyecto.

METODOLOGIA Se la puede resumir en el siguiente cuadro:

Sedimentos pesados (concentrados de partida)
↓
Secado
↓
Separación con bromoformo
↓
Separación magnética (imán permanente)
↙ ↘
Fracción magnética — Fracción no magnética
↓
Separación magnética
↙ ↘
Separación con imán permanente — Separación con "ventosa"
↓ ↓
Reconocimiento e identificación de minerales
↓
Análisis semicuantitativo

De las 273 muestras estudiadas, el 60% se las separó utilizando bromoformo. La metodología no es rígida pero de manera general se ha mantenido el esquema antes planteado.

RESULTADOS

En los cuadros (Apéndice 7a) se encuentran cada una de las muestras estudiadas y su valoración semicuantitativa relativa; así, como en los mapas (10 y 11) la ubicación de las mismas. Paralelamente se efectuó el análisis químico-cualitativo por fluorescencia de rayos X (XRF) de 106 muestras en los laboratorios de la Politécnica Nacional (Apéndice 7b).

A continuación se presenta una ligera interpretación mineralógica:

- SCHEELITA (WO_4Ca) se detectó fácilmente en la fracción no magnética usando luz ultravioleta. Su presencia más notoria es en las muestras pertenecientes al sector de Oyacachi, que podrían estar relacionados con muestras de metamorfismo de contacto-skarn?

- CIRCON (SiO_4Zr) se presenta en forma de prismas bipiramidales, cristalinos de variado color. Detectado fácilmente en la fracción no magnética proporcionando una fluorescencia amarilla bajo la luz ultravioleta.

El circón esta presente en todas las muestras estudiadas, excepto en 43.

Su presencia conspicua puede estar relacionada con terrenos granitoides en general.

- ORO (Au) se presenta en forma de granos aplastados, laminar de color amarillo con brillo metálico.

Existen sólo 50 muestras con oro, de las cuales 19 presentan más de 5 granos combinados con granos gruesos y oro laminar.

El contenido más alto alcanzado en una muestra fue de 14 granos pequeños y laminares pertenecientes a una muestra del Río Numbala.

- WOLFRAMITA (WO4FeMn) se presenta en forma prismática, tabular, con brillo submetálico y de color gris a negro.

Existen muy pocas muestras con la presencia de este mineral y su contenido es muy bajo.

CASITERITA (SnO2) esta presente (?) en muy pocas muestras y su contenido es muy bajo; efectuado el test para su identificación no se presenta el fenómeno químico al 100%. Parece que la variedad que tendríamos es la de colores oscuros, brillo casi metálico.

GALENA (SPb) aparece en forma de granos cúbicos de color gris acero, brillo metálico.

Solamente 7 muestras proporcionaron galena.

ILMENITA (TiO2) se presenta en forma tabular de contorno hexagonal, color negro y brillo submetálico.

De las 273 muestras estudiadas, no presentaron ilmenita 47, variando su contenido en los diferentes concentrados. Así su mayor concentración se ubican en las muestras localizadas en la zona al este de Saraguro y de 23 de Mayo, que podrían estar relacionadas con el conjunto granítico Tres Lagunas.

- PIRITA (S2Fe) se presenta en forma de granos irregulares, a veces piritohedrales y combinados en diferentes formas, brillo metálico, de color amarillo latón.

De las 273 muestras estudiadas, no presentan pirita 103. Probablemente no son minerales de gran importancia.

- FLOURITA (F_2Ca) se presentan en granos prismáticos y más o menos angulosos, comunmente es de color blanco e incoloro, transparente. A la luz ultravioleta su coloración es violeta.

Sólo 53 muestras presentan fluorita, además algunas muestras pueden estar acompañadas de ilmenita y/o rutilo, como ocurre con las muestras del sector del Carmelo-La Bonita.

- SIDERITA (CO_3Fe) sólo en siete muestras se encontró granos de este carbonato ferroso, presentando color negro a café marrón. Su contenido fue muy bajo.

- RUTILO (TiO_2) se presenta en forma de cristales prismáticos o en forma de agujas alargadas, de color rojo-a café rojizo, vitreo, la mayor concentración está en la fracción no magnética.

De las 273 muestras estudiadas, no presentaron rutilo 142, a veces se pueden encontrar agregados de ilmeno-rutilo.

En 12 muestras se encontró la presencia de anatasa, especie mineral que es un polimorfo del rutilo.

CONCLUSIONES

- El estudio de minerales pesados utilizando líquidos densos, y su reconocimiento por técnicas no sofisticadas constituye una herramienta útil y no muy costosa.

- El estudio mineralométrico semicuantitativo es un método útil en la prospección de minerales económicos y sobre todo cuando se trabaja en escala regional.

- El reconocimiento e identificación de los minerales como: scheelita, oro, wolframita, galena, casiterita, etc, puede permitirnos ubicar zonas o áreas interesantes que pueden ser estudiadas posteriormente a detalle, manteniendo esta técnica y ejecutando un muestreo sistemático que nos permita evaluar al 100% estas zonas.

BIBLIOGRAFIA

PIERRE DEVISMES, 1978, Photographical Atlas of Detrital Minerals.
PAUL F. KERR, 1977, Optical Mineralogy.
EOIN H. MACDONALD, 1983, Alluvial Mining.
HENRY B. MILNER, 1962, Sedimentary Petrography.

ARPS C.E.S., 1970, Zircon in granites, gneisses and metasediments from western Galicia (N.W. Spain). Boletín geológico minero.
PARFENOFF, POMEROL, TOURENQ, 1970, Les minéraux en grains, méthodes d'estude et determination.

Ing Ramiro Hernúdez A.
PROYECTO CORDILLERA REAL

Adj.: Cuadros de tabulación, Mapas de ubicación, Listado y tipo de estudio.

ESTUDIO POLIMINERAL SEMICUANTITATIVO DE LOS SEDIMENTOS PESADOS DE LA CORDILLERA REAL

Muestra nº	peso (g)	% Mag	Minutos	Observaciones
CB RD 001	42.2	21.	51	
002	18.4	19.	61.5	
003	26.5	2.6	59.2	
004	33.	3.9	75	
005	41.9	6.4	67	
006	57.2	1.5	48	
007	71.6	5.2	67.7	
008	22.05	13.3	56.6	calcopirita □
009	35.7	11	61.6	
010	15.6	1.1	44.1	
011	29.9	–	25.4	
012	34.7	0.5	28.2	
013	24.5	25.3	51.8	
014	27.2	3.1	14.6	
015	19.2	2.6	56.7	
016	39.5	2.3	76.2	
017	48.4	0.7	28.0	
020	64.2	1.3	33.8	
022	135.4	5.	29.5	
023	71.7	4.8	37.9	
024	112.5	4.	49.5	calcopirita □
026	91	–	30.7	
027	20.5	3.4	58	
028	11.2	–	17.8	
029	11.	–	23.6	
030	149.4	32.7	14.7	
031	29.05	20.0	34.5	
032	17.	4.7	27.6	
034	36.6	37.1	11.7	Au laminar
035	59	5.7	28.	gramos pequeños Au
045	15.2	13.8	85.2	
050	12.7	34.6	59.8	gramos pequeños Au
052	6.7	4.5	54.2	
053	37.6	0.6	72.3	
054	32.5	58.7	23.	
055	15.1	5.1	26.4	calcopirita □
056	87.3	39.9	56.	
057	24.7	3.3	25.8	
058	35.7	3.6	32.9	
059	7.	4.7.	24.2	
060	67.8	6.5.	15.9	
062	12.9	3.4	60.4	
068	7.5	4.2	71.4	
069	27.85	30.4	47	blenda △
070	10.4	0.9	40.3	
071	8.1	1.2	85.2	
072	58.4	40.2	58.5	
073	2.8	10.7	57.1	
074	31.5	24.4	71.7	
075	23.9	14.	79.	blenda △
076	18.5	18.7	69.6	
077	18.9	2.5.	62.1	galena □
078	20.0	1.3	70.5	galena □
092	26.3	17.8	71.1	
093	45.5	1.1	78.3	estaurolita □
094	35.5	4.7.	40.5	estaurolita □ / blenda □
095	36.8	8.4	63.3	blenda △ / anatasa □?
096	80.3	56.5	41.9	blenda □ / galena △ ?
097	16.9	1.0	65.	blenda △ / galena △
098	58.4	52.7	43.6	
099	25.5	42.7	50.9	blenda △
100	30.2	14.5	72.5	blenda △ / galena □ / hematita △
101	24.7	6.7	64.	blenda △ / galena △ / hematita △
102	23.9	3.3.	54.3	
103	10.9	4.7	50.9	hematita △ / laminar y pequeños gramos Au
R Collar	7.8	2.5	65.2	
A 126	13.	2.6.	63.8	hematita □ / anatasa □
127	10.8	2.5	66.6	hematita □
128	10.3	36.9	45.6	hematita □ / galena □ / estaurolita □
129	7.7	4.2	52.7	blenda □ / hematita □
130	17.5	43.4	50.2	hematita △
131	9.	2.0.	66.6	
132	4.5	24.4	60	hematita ●
133	17.9	40.3	48.	hematita ●
134	36.8	15.7	74.7	hematita ○
135	19.4	7.7	92.2	hematita ○
136	13.1	0.2	58.4	
137	8.6	0.5	97.6	hematita △
138	7	0.5	88.	
139	14.3	5.37	63.8	hematita □
140	12.	1.6	89	hematita ○
141	25.6	0.1	44.5	
155	12.5	2.7.	56.3	anatasa □ ? / hematita ○
156	41.4	3.7	23.1	
157	25.6	0.8	30	anatasa □ / hematita △
158	17.6	0.1	26.7	
159	13.4	0.3	13.4	
160	24.4	0.2	35.7	anatasa □ ? / hematita □
161	24.3	2.	64.	estaurolita ○
162	13.6	0.07	16.9	
163	19.2	70.3	38.7	anatasa □ ?
202	12.2	50.	45.9	anatasa □ ?
204	16	3	81.2	
205	3.	7.3	26.6	blenda □
206	9.2	2.	71.7	
207	8.7	–	17.2	blenda △
208B	10.8	–	16.6	hematita □
209	7.5	2.7	68.	hematita △
209C	14.9	–	58.6	
210	11.8	6.8	55	
211	23.1	5.2	77.3	
212	20.2	0.5	57.4	hematita △
215	6.4	51.6	39.	hematita ○
216	21.	74.8	20.4	hematita ○
217	11.	–	57.2	hematita ○
218	9.5	–	22.5	hematita □ ?
219	9.8	–	35.7	
220	21.5		23.7	hematita △
221	11.3		41.5	
222	12.3	38.6	55.2	calcopirita □
222(04)	37.5		21	
223	54.4	2.9	92.8	
224	13.9	2.	97.1	
224,	8.8	3.4.	69.3	
225	28.1	3.6	92.3	
226	31.4		37.5	
226V	4.8		54.3	
227(54)	83.6		31	
227V	71.3	78.9	13.1	
228	37.6	13.2	41.2	
229	17.3	2.9	66.2	
229V	17.2	3.3	83.1	
230	17.6	80.9	17.9	blenda □ / micro Au
230V	8.7	27.6	43.1	
231	9.7		24.7	
231V	57.9	86.5	13.6	
232	24.2	57.4	32.2	blenda △
232V	10.6		47.4	
233V	15.6	7.	20.5	
234V	52.4	5.6	41.7	
235V	21.2	3.8	54.6	
236	33.2	4.7	38.5	
236V	11		61.8	
237V	83.2	4.7	52.4	
238V	29.3	4.2	52.5	hematita □
239V	34.5	6.4	31.2	
240V	67.8	5.5.	41.2	
241V	48.2	8.1	6.5	
242	33.9		55.5	
243	39.1	2.2	75.7	
244	43.4	1.6	91.9	
245	9.3	53.7	45.1	
246(1)	38.7	2.6	70.2	
246(2)	27.6	2.5	78.9	galena ?
247	47.8	3.2.	66.8	
248	28.9		93.7	
249	24.7		73.4	
250(1)	28.3	0.1.	4.5	
250(2)	83.3	51.6	3.4	
251	24.9	55.7	10.6	
252	3.1	4.3	30.5	
253	36.1	1.2	29.9	

Simbología

- ● Moldeados
- ✗ Frescos
- + Con corr.
- ○ Redondeados
- ● Mates
- △ Opacos
- □ Abundancia y número de granos
- ⊕ Minerales identificados mediante la lámpara ultravioleta

Ing. Ramiro Barriga
Quito Abril 1980

Muestra NF	peso(gr)	% Mag.	% Pesados	Zircón	Zircón ①	Oro	Wolframita	Galena?	Hematita	Limonita	Rutilo	Casiterita	Sulfuros Sulfosales	Granate	Pirita	Fluor Sulfosales	Granate	Turmalina	Estibita	Sulfuros	Tenorita	Cobre	Observaciones
FV142	109.2	80.8	17.6		□10	□1				△					○								
143	47.3	68.7	17.1	□4	*		□?			△							○			●			
144	21.4	11.	14.	□3	*		□?										△			○			
145	52.7	5.3	3.9		≠		□?								△		□		●				
146	25.	20.6	5.6	□2	*												□		○				
147	38.1	15.	23.3		*										□	□	△		○	□			
148	32.8	44.	5.4		≠											*	△		●	□			
149	54.2	4.	32.2	*	≠											□	△		●	△			
150	73.	73.5	10.6		≠		□?																hematita □
151	68.6	72.	64.4					□?		□							△	□				△?	hematita △
152	57.	74.	15.6		*			□?		□									△				hematita □
153	106.8	84	12.8		*					□						□		□					hematita □
154	46.7	81.6	9.2		*					△										●			hematita △
PO 83	22.2	28.3			*					□	□									●			
84	6.1	29.5			□					●					△								
85	11.4				□					●													hematita □
86	5.2	30.7			□															□		△?	
87	1.6									□						*							
88	1.7	52.9		□4	□20	□2				△	□				△								
89	0.4										△					□1	□						
90	35.7															≠?							
91	69.	11.8			*					○	□							□					
P 104	33.9	17.9			□2						□					≠							
105	40.2	33.													□			□		□			
106	31.3	22.3		□2	*										△			□		□			
107	39.3	15.8		□5	*	□2					△				●		△		□		□		
109	35.9	40.9			□					□					●								
110	26.	88.4			□						□				□								
112	24.4	25.8			*										□					△	□?		
114	25.3	35.1			□	□1		□?			△				●	≠	△			●			
115	22.1	25.7		□1	□										●					△			
116	45.9														○	+							
117	20.2	48.			□						△						△						
118	25.3	47.8		□10	□		□?			□					●		△			□			
119	23.4	41.4			□										○								
120	14.3	39.8			≠						□				●		△			△			
121	4.6	80.4			□					□							△		△				
122	2.5	44.													△		△	□					
123	1.8	88.8			□											□1							
124	1.6	37.5			□											□	△			△			
169	7.9				≠												△			△			anatasa □
A 164	87.5	50.7			□					○						△	△		□				
165	47.3	9.			≠					○												□?	
166	45.6	25.2			*					○									□				
167	11.7	18.8			≠					○								△					
170	65.6	36.7		□1	*					○							△	□					anatasa □
171	16.1	62.1		□2	*		□?									*				△			
172	7.1	42.2		□10	*					△													
254	10.4	14.4		*	≠					△					□					○			
255	28.2	8.5		□4	□					○	□												
256	15.5	7.7			≠		△?				□									△			hematita □
257	10.5				*		△?				□?									△			
262	42.3	28.6		□1	*		△?			○													
P 113	10.8	23.1													●					○			
MC 125	33.4	13.7		□18	□										○	*			△			△?	
127	20.9	52.6			□	□1					□						○						
128	23.5	70.6		□2	□	□1					□						○			△			
129	46.9	4.9			□						□				△		○			●			
130	17.5	2.2			□										△		●			●			
131	6.7	17.9		□4	*		□?				□				△		●		●				
132	30.1	22.2			□					□					△		△		●				
133	26.5	33.2			≠		□?				□				△		△						
134	47.5	46.9		□2	≠						*				△					●			blenda △
135	3.6	41.6			*						□						△						
136	122.	87.		□2	*	□4									□		●						
AP 180	67.1	97.7		*	≠						□				△					□		□?	
A 268	7.			□5	≠								□?				△			□			anatasa □
188	9.3	27.5		□15	□	□8					□				●					△			grano gruesa y fino Au
182	2.9	75.8		□11	□						□3									△			
AP 187	6.2				*			□??			△						△			△			
185	2.8	25.		□1	*											□2				●			
173	2.6	15.3			□						△					□2							
178	4.6				*	□1	□?										△			●		□	
183	27.	97.		□20	*					□	□					□1							
A 186	6	1.6		□1	*						○						●						
AP 190	3.8	34.2		□6	*	□6					□											△?	
A 276	19.6	47.4		□6	*												○					△?	
267	9	13.3		□5	≠					□	□									●			anatasa □
263	27.6	79.7			≠	□6									○				□				galena □
AP 179	3.6	44.4		□25	*															△			
175	6.9	7.2		□5	□															○			
A 265	8.4	13.		□5	≠					○	□2				□		○						anatasa □ 4
266	3.5	11.4			≠												△		△				
AP 189	10.5	20.9		□2	*										+		○						
181	17.6	99.4		□3	□	□3				△	□1				□	□4			□				
A 272	4.6	13.			□										□					△			
270	2.9				≠		□?			□	△								△				
AP 184	7.7	79.2													□		○			△			
176	2.	20									□				□					△			
177	4.1	7.3									□						□						
174	5.6	5.3									□									○		□?	
A 269	3.9				≠	□3	□?			△													anatasa □ 1
275	5.8	20.6			≠		□?				□								○				anatasa □ 3
279(1)	62.7	82.1			*					△	△				△		□						
279(2)	48.5	80.2			□					○	○											□?	
273	44.6	49.3		□7	*										+								hematita △
278	52.	17.6		□5	≠	□4				○							△						
271	15.8	48.1			*		□?								+	□2						□?	
264	6.5				□								□?		□					△			
274	34.1	81.5			□		△?								△								
280	30.9	69.5			≠		□									□1						△?	
277	54.2	90			□	□1									△								
RO 193	15.5	12.9													△					○			
194	81.	1.6													△					○			
195	62.3	1.3									□?				△					○			
ML 147	10.5	77.1		□20	*					△	□				●								
146	9.9	73.7		□1	≠					△	□				△								
145	27.5	76.7		□20	≠	□3				△	□						△						
144	11.5	36.5		□1	*						□				□	□?	△						
148	27.4	90.8		□5	*						□											□?	
137	3.	46.6		□10	*					□	□				●		□						
141	16.3	80.9					□?			□	□				□					△		□?	
142	11.2	69.6		□10	*		□?								△		△					□?	
143	23.1	66.6		□60	*	□1		□?		□	□				△		△						
150	27.8	46.4		□5	*	□1				□													
149	10.9	57.7			*		□?				□?									△		□?	
138	13.9	25.8		□10	*	□1				□	□				△		△						
139	34.1	64.5		□20	≠	□11				□							△						
140	42.4	71.4		□8	≠	□1				△	□						□		□			□?	
136	4.3	34.8		□1											○		□						

Simbología

- * microtrazas
- tr trazas
- + demonante
- ○ abundante
- ● comun
- △ escaso
- □ ocasional y numero de granos
- ① Minerales identificados mediante la lampara ultravioleta

Ing. Ramiro Bermudez/INEMIN / Nieves Brillanes
Marzo 1987 – Abril 1990

APPENDIX 7b
APENDICE 7b

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

APARTADO 2759
TELEX 22650 ESPONA
Quito - Ecuador

FACULTAD DE GEOLOGIA MINAS Y PETROLEOS

I N F O R M E

Análisis:	Químico (cualitativo) por XRF
Solicitado por:	Misión Británica e INEMIN
Muestras:	Sedimentos pesados (Cordillera Real del Ecuador)
Número:	29 (veintinueve)
Costo:	Ninguno. Colaboración Interinstitucional

Departamento:	Geología
Laboratorio:	Rayos-X
Analista:	Tlga. Med. María de los Angeles Aráuz

Equipos utilizados

-	Espectrómetro:	Philips PW 1410
-	Detector:	Flujo y centelleo
-	Cristal:	LiF200
-	Tubo:	Tungsteno

Simbología: Fuerte (f), moderado (m), débil (d), trazas (trz).

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL FACULTAD DE GEOLOGIA MINAS Y PETROLEOS

Cuadro de resultados en 29 muestras

No	Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Pb	As	Zn	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	V	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb
1.	CRP-086	d		f	d		d		m	d	d	f		f	f	f				trz	trz			
2.	CRP-087	d		d	m	d			d	trz	trz	f		m	m	m	trz	trz						
3.	CRP-090	d		d	d	trz			d	trz	d	f		m	d	m	trz							
4.	CRP-107	d	trz	m	m	trz			d	trz	trz	f		f	d	f				trz				
5.	CRP-114	d	d	f	m	trz	trz		d	d	trz	f	trz	m	d	f				trz				
6.	CR-119	d	d	f	m	trz	m	m	d	trz	d	f	trz	m	trz	f								
7.	CRP-122	trz		d	d	trz		trz	d		trz	f		f	trz	f								
8.	CRP-123			m	d				d	d	trz	f		f	d	f								
9.	CRA-164		d	f	d		trz		d		trz	f		d	trz	f				trz	trz			
10.	CRA-163		m	f	trz	m	d		d		trz	f		m		f		trz	trz	d	trz	trz	trz	
11.	CRA-170		trz	f					d		trz	f		m	trz	f								
12.	CRA-171	d	d	f	d	trz	d	d	d		trz	f		f		f					trz			
13.	CRMC-131	d	trz	f	m				trz		trz	f		m		f								

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS
Quito

(Cont.: Cuadro de resultados en 29 muestras)

No.	Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Pb	As	Zn	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	V	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb
14.	CRMC-136	trz	d	f	m		trz		d	trz	trz	f		f	d	f				d			d	
15.	CRMC-134	trz	d	f	d		trz	trz	d		trz	f		f	trz	f		trz	trz	d	trz	trz		
16.	CR-A-129	trz	trz	d	d	d			d		trz	f		f	d	m				d				
17.	CRMC-125	m		d	d			trz	d	trz	d	f		d	d	f	trz							
18.	CRAP-180		d	f	trz	trz	m	m	d		trz	f	d	f	trz	f		trz	trz		d	d	trz	
19.	CRA-286		d	f	d		d		trz		trz	f	trz	f		f			trz	m				
20.	CRAP-187		trz	f	d		trz	trz	d		trz	f		f	trz	f								
21.	CR-A-215	trz	d	f	d	d	trz		d	trz	trz	f	trz	f	trz	f								
22.	CRAP-178	trz	trz	f	d	d	d	d	d	trz	trz	f		f	trz	f		trz		trz				
23.	CRAP-173	d		d	d	trz	trz	trz	m	d	m	f	[illegible]	m	d	m								
24.	CRAP-183	trz	d	f	trz		d	d	d		d	f		f	trz	f								
25.	CRA-256	d	d	f	trz	d	trz		d		trz	f		m		f				trz	trz			
26.	CRA-262	trz	trz	f	d	trz	trz		d		trz	f		m	trz	f								
27.	CRMC-133	d	d	f	m	d			d	trz	trz	f		d	trz	m		trz					trz	
28.	CRP-118	d	d	f	m	d	d	d	d	d	d	f		m	trz	m				trz				
29.	CRA-255	d	d	f	d	d			d		trz	f		m	trz	f						trz		

Quito, Abril 12 de 1990

Ing. Tomás Espinosa
DECANO

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS
Quito

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

APARTADO 2759
TELEX 22650 ESPONA
Quito - Ecuador

FACULTAD DE GEOLOGIA MINAS Y PETROLEOS

I N F O R M E

Análisis:	Químico (cualitativo) por XRF
Solicitado por:	Misión Británica e INEMIN
Muestras:	Sedimentos pesados (Cordillera Real del Ecuador)
Número:	46 (cuarenta y seis)
Costo:	Ninguno.. Colaboración Interinstitucional

Departamento:	Geología
Laboratorio:	Rayos-X
Analista:	Tlga. Med. María de los Angeles Aráuz

Equipos utilizados

- Espectrómetro: Philips PW 1410
- Detector: Flujo y centelleo
- Cristal: LiF200
- Tubo: Tungsteno

Simbología: Fuerte (f), moderado (m), débil (d), trazas (trz).

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS

Cuadro de resultados en 46 muestras

No	Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Br	Pb	As	Zn	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb
1.	CR-RB-060	m	m	f	f	d	m	trz	trz	d	d	trz	f		f	d	f			d				
2.	CR-MP-93	m	d	m	d	m	f	trz	d	d	d	d	f	trz	f	d	f	trz		d				
3.	CR-MP-94	m	m	m	d	d	m		trz	d	d	trz	f		f	d	f			trz				
4.	CR-MP-95	m		d	d	d	f		trz	d	trz	d	f		f	trz	f			d				
5.	CR-MP-100	d		f	m	d	f	d	d	d	trz	d	f	d	f	trz	m			trz				
6.	CR-MP-103	m	d	m	d	d	d		m	m	d	d	f	trz	f	d	f			trz				
7.	CR-A-126	d	trz	f	trz	d	d	d	d	trz		d	f		f	trz	f			d			trz	trz
8.	CR-A-127	f	d	f	d	d	d	trz	m	d		d	f		f	d	f	trz		trz	trz		trz	trz
9.	CR-A-130	m	trz	m	m	trz	m	d	d	d	trz	d	f	trz	m	d	f							
10.	CR-A-135	d	trz	m	m	trz	m	d	d	d	d	d	f		m	d	f			trz				
11.	CR-A-136	trz		d	m		m			trz		trz	f		m	m	f							
12.	CR-A-138	m	trz	f	f	d	f	trz	trz	d	trz	trz	f		m	d	f			trz	trz			
13.	CR-A-141	d	d	f	d	d	m		trz	m	trz	d	f		m	d	f			d	trz			

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS
Quito

(Cont.: Cuadro de resultados en 46 muestras)

No.	Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Br	Pb	As	Zn	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb
14.	CR-A-155	trz	trz	m	d	trz				trz	trz	trz	f		f	d	f			d				
15.	CR-A-156	d	m	f	m	d	trz	trz	d	d		trz	f		f	trz	f		trz	m				
16.	CR-A-159	d	d	f	d	d	d	trz	f	d	d	d	f	trz	f	d	f	trz	trz	d	d			
17.	CR-A-161	d	m	f	d	f	d	d	d	d		d	f	trz	f	d	f		trz	m				
18.	CR-A-163	trz	d	f	m	d	m	d	d	d		d	f	d	f	trz	f			d	trz			
19.	CR-A-204	trz		f	d	trz	m	m	m	f	d	d	f		f	trz	f	trz		trz				
20.	CR-A-209C	trz		m	f	d	m	trz	d	d	d	trz	f		m	d	f			d				
21.	CR-A-215	trz	trz	d	m	d	f		trz	d		d	f	d	m	d	f			d	trz			
22.	CR-A-216	d	d	f	m	d	m		d	trz		d	f	c		trz	f			d	trz			
23.	CR-A-247		f	f	trz	f	d	trz		d		trz	f	trz	f	d	f	trz	trz	f	d	trz		
24.	CR-A-228	d	m	f	m	m	m	d	d	d	trz	trz	f		f	trz	f			m	trz			
25.	CR-A-230V	d	d	f	d	d	d	trz	trz	m	d	trz	f		m	d	f			trz	trz			
26.	CR-A-239V	d	trz	d	d		m			d		d	f		m	d	f	trz	d					
27.	CR-A-240V	d	trz	f	d	trz	d		trz	d		d	f		m	f	d		Au					
28.	CR-A-246(P1)	trz	m	m		m	m	trz	trz	m	d	trz	f		f	d	f			d	trz			

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS
Quito

(Cont.: Cuadro de resultados en 46 muestras)

No.	Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Br	Pb	As	Zn	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb
29.	CR-A-246(P2)	m	m	m	trz	d	d			d	d	trz	f		f	d	f		trz	m	trz			
30.	CR-A-248	trz	m	m		m	d			m	d	trz	f		f	d	f		d	m	trz			
31.	CR-A-233V			f	d		d	trz	d	trz		d	f	trz	d	d	f		trz		trz			
32.	CR-A-235V	d	trz	f	d	trz	d	trz		d	trz	d	f		m	d	f							
33.	CR-A-238V	d	trz	f	d	d	m			d	trz	d	f		f	d	f							
34.	CR-A-242	trz	f	f		d	m			d		trz	f	trz	f	d	f			m	trz	trz		
35.	CR-A-243	trz	d	f	d	d	m			d		trz	f		f	trz	f		trz	d	trz			
36.	CR-A-244	trz	d	m	trz	d	m			m	trz	trz	f		f	d	f	trz		m				
37.	CR-A-249		trz	f	m	m	f			trz		trz	f		f	d	m							
38.	CR-A-250(P2)	d	f	f	d	d	m	d		d	trz	d	f	trz	f	d	f		trz	f	trz	trz		
39.	CR-FV-143	m	m	f	d	d	d	d	d	m	d	d	f		f	d	f		trz	d	trz	trz	trz	
40.	CR-FV-144	trz	f	f	d	m	d		d	m	trz	d	f	trz	f	trz	f	trz		f	trz	d		

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS
Quito

(Cont.: Cuadro de resultados en 46 muestras)

No.	Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Br	Pb	As	Zn	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb
41.	CR-FV-145	m	f	f	m	d	trz	trz		d		trz	f	trz	f	d	f			f	d	d		
42.	CR-FV-146	trz	f	f	m	f	d	d		d		trz	f	d	f	trz	m			f	m	d		
43.	CR-FV-150	d	trz	f	f	d	m	trz	d	d		d	f		f	trz	f							
44.	CR-FV-151	m		d	d		d				trz	d	f		m	d	f							
45.	CR-FV-152	d	trz	f	f	d	d	trz		d		d	f		m	trz	m							
46.	CR-FV-154	d	d	f	m	d	d	trz	trz	d		d	f		m	trz	f				trz			

Quito, Abril 3 de 1.990

Ing. Tomás Espinosa
DECANO

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS
Quito

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

APARTADO 2759
TELEX 22650 ESPONA
Quito - Ecuador

FACULTAD DE GEOLOGIA MINAS Y PETROLEOS

INFORME

Análisis:	Químico (cualitativo) por XRF
Solicitado por:	Misión Británica
Muestras:	Sedimentos pesados (Cordilleral Real del Ecuador)
Número:	31 (treinta y uno)
Costo:	Ninguno. Colaboración Interinstitucional
Departamento:	Geología
Laboratorio:	Rayos-X
Analista:	Tlga. Med. María de los Angeles Aráuz

Equipos utilizados

- Espectrómetro: Philips PW 1410
- Detector: Flujo y centellao
- Cristal: LiF200
- Tubo: Tugsteno

Simbología: Fuerte (f), moderado (m), débil (d), trazas (trz), Magnetita (Mgt).

Observaciones: En la última columna del cuadro de resultados consta una correspondiente a la de minerales presentes con propiedades magnéticas y que en el caso de las muestras analizadas debe corresponder a Magnetita y/o Titano-Magnetita.

Este tratamiento es necesario previo análisis mediante XRF.

Cuadro de resultados en 31 muestras

No.	Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Pb	As	Zn	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb	Mgt
1.	A-186		trz	f	d				trz	trz	trz	f		f	trz	f			d	d				
2.	A-190	d	d	f	m	d	trz		d	d	d	f		f	d	f		trz	m	trz				
3.	A-276		f	f	trz	m	d	d	d		trz	f	trz	f		f		trz	m	d	d			
4.	A-267		m	f	m	d	d	d	trz		trz	f	d	f		f			f	trz		trz	trz	
5.	AP-179	d	d	f	d	d	m	m	d	trz	d	f		f	trz	f	trz	trz	m	trz				
6.	A-265	trz	d	f	d	f	d		trz		trz	f	trz	f		f			f					
7.	A-189	trz		f	d	d		trz	trz		trz	f	trz	f		f								
8.	AP-181	trz	d	f	d			trz	d		trz	f		f	trz	f		d	trz					
9.	A-270	trz	d	f	trz	m	d		trz	trz	trz	f		d		f								
10.	A-269		d	f	trz	m	d		trz	trz	trz	f	trz	m	trz	f			f	d				
11.	A-275	d	d	f	trz	d	d	d	d		d	f		m	d	f		strz		trz		d		
12.	A-279(2)	f	trz	f	m	d	m		trz		m	f	trz	f	trz	f	trz			trz				10%
13.	A-273	d		f	d	trz	d	m	d	trz	d	f	trz	m	d	f								10%
14.	A-271	d	d	f	d	d	m	m	d	trz	d	f	d	d	d	f								
15.	AP-174	m		trz	m	d			d	d	d	f		m	d	d				trz				
16.	A-264			f	trz	trz		trz	trz		trz	m		d	trz	m						trz		
17.	A-274	d	d	f	m	d	m	m	d	d	d	f	d	m	m	f								15%
18.	A-280	d	trz	f	d	d	trz		d		d	f		f	trz	f								5%
19.	RB-195	d	trz	d	m	d		trz	d	trz	d	f		d	d	m	trz							
20.	ML-146		d	f	m	trz	d		d	trz	d	f	d	f	d	f				d				
21.	ML-145	trz	d	f	d	d	d		d		d	f		f	trz	f		trz	d	d				
22.	ML-144	d	m	f	d	d	trz	trz	d	trz	trz	f		m	trz	f		trz	d	trz	trz			
23.	ML-141	d	d	f	m	d	m		m		trz	f		f	m	f	d		trz					
24.	ML-142	m	m	f	m	m	d	d	m	d	d	f		f	m	f		trz	trz	trz	trz			

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS
Quito

Cuadro de resultados en 31 muestras

No.	Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Pb	As	In	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb	Ag
1.	A-186		trz	f	d				trz	trz	trz	f		f	trz	f			d	d				
2.	A-190	d	d	f	m	d	trz		d	d	d	f		f	d	f		trz	m	trz				
3.	A-276		f	f	trz	m	d	d	d		trz	f	trz	f		f		trz	m	d	o			
4.	A-267		m	f	m	d	d	d	trz		trz	f	d	f		f			f	trz		trz	trz	
5.	AP-179	d	d	f	d	d	m	m	d	trz	d	f		f	trz	f	trz	trz	m	trz				
6.	A-265	trz	d	f	d	f	d		trz		trz	f	trz	f		f			f					
7.	A-189	trz		f	d	d		trz	trz		trz	f	trz	f		f								
8.	AP-181	trz	d	f	d			trz	d		trz	f		f	trz	f		d	trz					
9.	A-270	trz	d	f	trz	m	d		trz	trz	trz	f		d		f								
10.	A-269		d	f	trz	m	d		trz	trz	trz	f	trz	m	trz	f			f	d				
11.	A-275	d	d	f	trz	d	d	d	d		d	f		m	d	f		$trz		trz		d		
12.	A-279(2)	f	trz	f	m	d	m		trz		m	f	trz	f	trz	f	trz			trz				10%
13.	A-273	d		f	d	trz	d	m	d	trz	d	f	trz	m	d	f								10%
14.	A-271	d	d	f	d	d	m	m	d	trz	d	f	d	d	d	f								
15.	AP-174	m		trz	m	d			d	d	d	f		m	d	d				trz				
16.	A-264			f	trz	trz		trz	trz		trz	m		d	trz	m						trz		
17.	A-274	d	d	f	m	d	m	m	d	d	d	f	d	m	m	f								15%
18.	A-280	d	trz	f	d	d	trz		d		d	f		f	trz	f								5%
19.	PB-195	d	trz	d	m	d		trz	d	trz	d	f		d	d	m	trz							
20.	ML-146		d	f	m	trz	d		d	trz	d	f	d	f	d	f				d				
21.	ML-145	trz	d	f	d	d	d		d		d	f		f	trz	f		trz	d	d				
22.	ML-144	d	m	f	d	d	trz	trz	d	trz	trz	f		m	trz	f		trz	d	trz	trz			
23.	ML-141	d	d	f	m	d	m		m		trz	f		f	m	f	d		trz					
24.	ML-142	m	m	f	m	m	d	d	m	d	d	f		f	m	f		trz	trz	trz	trz			

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD
GEOLOGIA
MINAS
PETROLEOS
Quito

Continuación de resultados de 31 muestras

Código\Elem.	Ba	Ce	Zr	Sr	Rb	Pb	As	Zn	Ni	Cu	Fe	Co	Mn	Cr	Ti	Ag	Au	Y	Nb	Mo	Sn	Sb	Mgt
ML-143	m	m	f	m	d	d	d	d		trz	f		m	trz	f	trz		trz					
ML-149	d	d	f	d		d	d	d	trz	d	f	trz	m	d	f		trz	d	trz				
ML-138	d	m	f	m	d	d	m	m	d	d	f	trz	m	d	m								
ML-139	d	m	f	d	d	d	d	d	trz	trz	f		m	d	f				trz	trz			
ML-140		d	f	d	d	d	d	d		trz	f		f	d	f				trz	trz			
ML-136	d	d	f	m	d	d	trz	trz	trz	d	f	d	m	trz	f								
ML-148	d	d	f	m	d	d		d		d	f		f	d	f				trz	trz			

Quito, Mayo 7 de 1.990

Ing. Tomás Espinosa
DECANO

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD GEOLOGIA MINAS PETROLEOS
Quito

Lista y tipo de estudio de los sedimentos pesados

No. de la muestra	Ubicación	Tipo de estudio
RB-001	R. Patate	PS
002	R. Patate	"
003	R. S. Pablo	"
004	R. Ulba	"
005	R. Pastaza	"
006	R. Blanco	"
007	R. Verde	"
008	R. Pastaza	"
009	R. Pastaza	"
010	R. Machay	"
011	R. Pastaza	"
012	R. Topo	"
013	R. Zuñag	"
014	R. Alao	"
015	R. Maguazo	"
016	R. Alao	"
017	R. Alao	"
020	R. Atillo	"
022	Q. Pancun	"
023	R. Tingo	"
024	R. Cebadas	"
026	R. Upano	"
027	R. Upano	"
028	R. Upano	"
029	Zuñac	"
030	Salado Chico	"
031	Salado Grande	"
032	R. Cugusha	"
034	R. Colimbo	"
035	R. Abanico	"
049	Monte Olivo	"
050	R. Pimampiro	"
052	R. Verde	"
053	R. Verde	"
054	Sta. Bárbara	"
055	La Bonita	"
057	Sta. Bárbara	"
058	Q. Agua Amarilla	"
059	Sta. Bárbara	"
060	Q. de las Piedras	PS/XRF
062	Q. El Oso	PS
071	R. Verde Grande (arroyo)	"
073	Q. Soledad	"
075	Base 4	"
076	Cabeceras Cosanga	"
077	Cabeceras Cosanga	"
078	Cabeceras Cosanga	"
056	R. Sabondoy	"
068	Q. Los Incas	"
069	R. Muyo	"
070	R. Muyo	"
074	Q. Soledad	"
072	R. Antisana	"

No. de la muestra	Ubicación	Tipo de estudio
MP-092	R. Oyacachi	PS
093	R. Oyacachi	PS/XRF
094	R. Cariyacu	PS/XRF
095	R. Chalpi	PS/XRF
096	R. Oyacachi	PS
097	R. Cedro	"
098	R. Oyacachi	"
099	R. Sta. María	"
100	R. San Juan Grande	PS/XRF
101	R. San Juan Chico	PS
102	R. Quijos	"
103	R. Quijos	PS/XRF
R. Collay	R. Collay	PS
PO-083	Taday	"
084	R. Dudas	"
085	R. Dudas	"
086	R. Dudas	PS/XRF
087	R. Paute (afulente)	PS/XRF
088	R. Juval	PS
089	R. Collay (afluente)	"
090	R. Paute (afluente)	PS/XRF
091	R. Pindiliz	PS
P 104		"
105	Cabeceras Cosanga	"
106	Cabeceras Cosanga	"
107	Cabeceras Cosanga	PS/XRF
109	R. Aliso	PS
110	R. azuela	"
112	R. Salado	"
114	R. Salado (afluente)	PS/XRF
115	R. Cascabel	PS
116	R. Salado	"
117	R. Diviso	"
118	R. Diviso	PS/XRF
119	R. Diviso	PS/XRF
120	R. Diviso	PS
121	R. Sarahurco	"
122	Sarahurco N.	PS/XRF
123	R. Hualaringo	PS/XRF
124	R. Hualaringo	PS
P 113	R. Salado (afluente)	"
ML- 147	Q. Las Juntas	"
146	Q. La Industria	PS/XRF
145	R. Palmar	PS/XRF
144	R. Laurel	PS/XRF
148	Q. El Bicundo	PS/XRF
137	R. Sucio (afluente)	PS
141	R. Cofanes	PS/XRF
142	Q. Pilares	PS/XRF
ML- 143	R. San Jorge	PS/XRF
150	R. La Chispa	PS
149	Q. Bijagual	PS/XRF
138	Q. La Chisparosa	PS/XRF
139	R. Laurel	PS/XRF
140	R. Condue	PS/XRF
136	Q. Garrapatal	PS/XRF

No. de la muestra	Ubicación	Tipo de estudio
A 126	R. Moriré	PS/XRF
127	S.M. Cuyes	"
128		
129	Amazonas	PS
130	R. Cuyes (afluente)	PS/XRF
131	R. Cuyes	PS
132	R. Cuyes	"
133	R. Cuyes	"
134	R. Cuyes	"
135	R. Cuyes	PS/XRF
136	R. Cuyes	"
137	R. Cuyes	PS
138	R. Cuyes	PS/XRF
139	R. Collay (afluente)	PS
140	R. Chorro Blanco	"
141	Q. Honda	PS/XRF
155	R. Betas	"
156	R. Macuchi	"
157	R. Zavala	PS
158	R. Zavala (afluente)	"
159	R. Zavala (afluente)	PS/XRF
160	R. Zavala (afluente)	PS
161	R. Zavala (afluente)	PS/XRF
162	R. Sta. Cleotilde	PS
163	R. Pauintza	PS/XRF
202	R. Molor	PS
204	R. sanguriña	PS/XRF
205	Chiguinda	PS
206	Q. Montanero	"
207	Q. Chorro Blanco	"
208B	R. Collay	"
209	C. Negro	"
209C	C. Negro	PS/XRF
210	R. Negro	PS
211	R. Negro	"
214	R. Negro	"
215	R. Negro	PS/XRF
216	R. Negro	"
217	R. Negro	PS
218	R. Negro	"
219	R. Negro	"
220	R. Negro	"
221	R. Negro	"
222	R. Shiro	"
222(3-4)		
223	R. Shiro	"
224	Q. esmeraldas	"
224.	Q. Esmeraldas	"
225	R. Martirio	"
226	R. Collay	"
226V	R. Yacura?	"
227(1-4)	R. Arenillas	"
227V	R. Blanco?	"

No. de la muestra	Ubicación	Tipo de análisis
228	R. Jíbaro	PS/XRF
229	R. Arenillas	PS
229V-	R. Jíbaro	"
230	R. Pilares	PS/XRF
230V-	V. Hermoso	PS
231	R. Pilares	"
231V	La Canela	"
232	R. Pilares	"
232V	R. Panguri	"
233V	R. Pilares	PS/XRF
234V	R. Panguri	PS
235V	R. Collay	PS/XRF
236	R. Gualaceo (afluente)	PS
236V	R. Panguri	"
237V	R. Panguri	"
238V	La Canela	PS/XRF
239V	R. Panguri	"
240V	R. Panguri	"
241V	Q. Palmales	PS
242-	Q. Flor Amarilla	PS/XRF
243	Q. San Francisco(ramal)	PS/XRF
244	R. Numbala	"
245	R. Numbala	PS
246(1)	Q. El Oso	PS/XRF
246(2)	Q. El Oso	"
247	R. Numbala	"
248	R. Numbala (afluente)	"
249	R. Cuyes	"
250(1)	Q. Yerbabuena	PS
250(2)	Q. Yerbabuena	PS/XRF
251	R. Cuyes	PS
252	R. Cuyes	"
253	R. Cuyes	"
FV 142	R. Isimanchi	"
143	R. Isimanchi	PS/XRF
144	R. Isimanchi	"
145	R. Isimanchi	"
146	R. Isimanchi	"
147	R. Isimanchi	PS
148	R. Isimanchi	"
149	R. Isimanchi	"
150	Q. La Colmena	PS/XRF
151	Q. La Colmena	"
152	Q. La Colmana	PS
153	Q. La Colmena	"
154	R. Vergel	PS/XRF
A 169	R. Negro	PS
165	R. Negro	PS/XRF
166	R. Negro	PS
167	R. de la Plata	"
170	R. Negro	PS/XRF
171	R. Ingenio	"
172	R. Plateado	PS
254	R. Tambo Blanco	"
255	R. La Merced	PS/XRF

No. de la muestras	Ubicación	Tipo de estudio
256	R. Verde	PS/XRF
257	R. Verde (afluente)	"
262	R. Quimi	"
MC 125	R. Blanco (Patate)	"
127	Q. Juan Ibarra	
128	Q. Mueses	
129	Monte Olivo	PS/XRF
130	R. San Miguel (tributario)	PS
131	R. San Miguel	PS/XRF
132	R. San Jorge	PS
133	R. San Jorge	PS/XRF
134	R. Condue	"
135	R. San Jorge	PS
136		PS/XRF
AP180	R. Salado Chico	"
A 268	R. Tutupali	"
188	R. Collanes	PS
182	R. Consuelo	"
AP 187	R. Palora	PS/XRF
185	R. palora	"
173	R. Galgalán	"
178	R. Playas	"
183	R. COlimbo	"
A 186	R. Palora	"
AP 190	R. Venado	"
A 276	Q. Piuntza	"
267	R. Yacuchicangari	"
263	R. Cambana	PS
AP 179	R. Salado Grande	PS/XRF
AP 175	R. Ashillán	PS
A 265	R. Tutupali	PS/XRF
266	R. Tutupali	PS
AP 189	R. Encantado	PS/XRF
181	R. Alshi	PS
A 272	R. Espadillas	"
270	R. Ortega	PS/XRF
AP 184	R. Alao	PS
176	R. Upano	"
177	R. Purshi	"
174	Q. Quisal	PS/XRF
A 269	R. Ortega	"
275	Q. El Guando Chico	"
279(1)	R. Chicaña	PS
279(2)	R. Chicaña	PS/XRF
273	R. Campana Urcu	"
278	R. Cantzama	PS
271	R. Campana Urco	PS/XRF
264	R. Tutupali	"
274	Q. El Guando Grande	"
280	R. Chicaña	"
277	R. Salado	PS
RB 193	R. Cunguentza	"
194	R. Ojal	"
195	R. Tutunangoza	PS/XRF

XRF = fluorescencia de rayos X PS = mineral semicuantitativo

RB/fac
90.04

INDICE DE MAPAS

Mapa 1 Mapa geológico y de muestreo Monte Olivo - Río Condue y de la zona del Río Minas.

Mapa 2 Mapa geológico y de muestreo de las zonas de Las Hollas, La Bonita, La Sofía y Puerto Libre.

Mapa 3 Mapa geológico y de muestreo de Oñacapa - Yacuambí y de Jimbilla - Río Quimi.

Mapa 4 Mapa geológico y de muestreo de la zona de Tutupali, Ortega Alto, Río Cantzama, Río Campana Urco, Río Chicana y Río Chuchumbleza.

Mapa 5 Mapa geológico y de muestreo de Atillo-Macas (Río Abanico)

Mapa 6 Mapa geológico y de muestreo de Alao - Palora (por Huamboya).

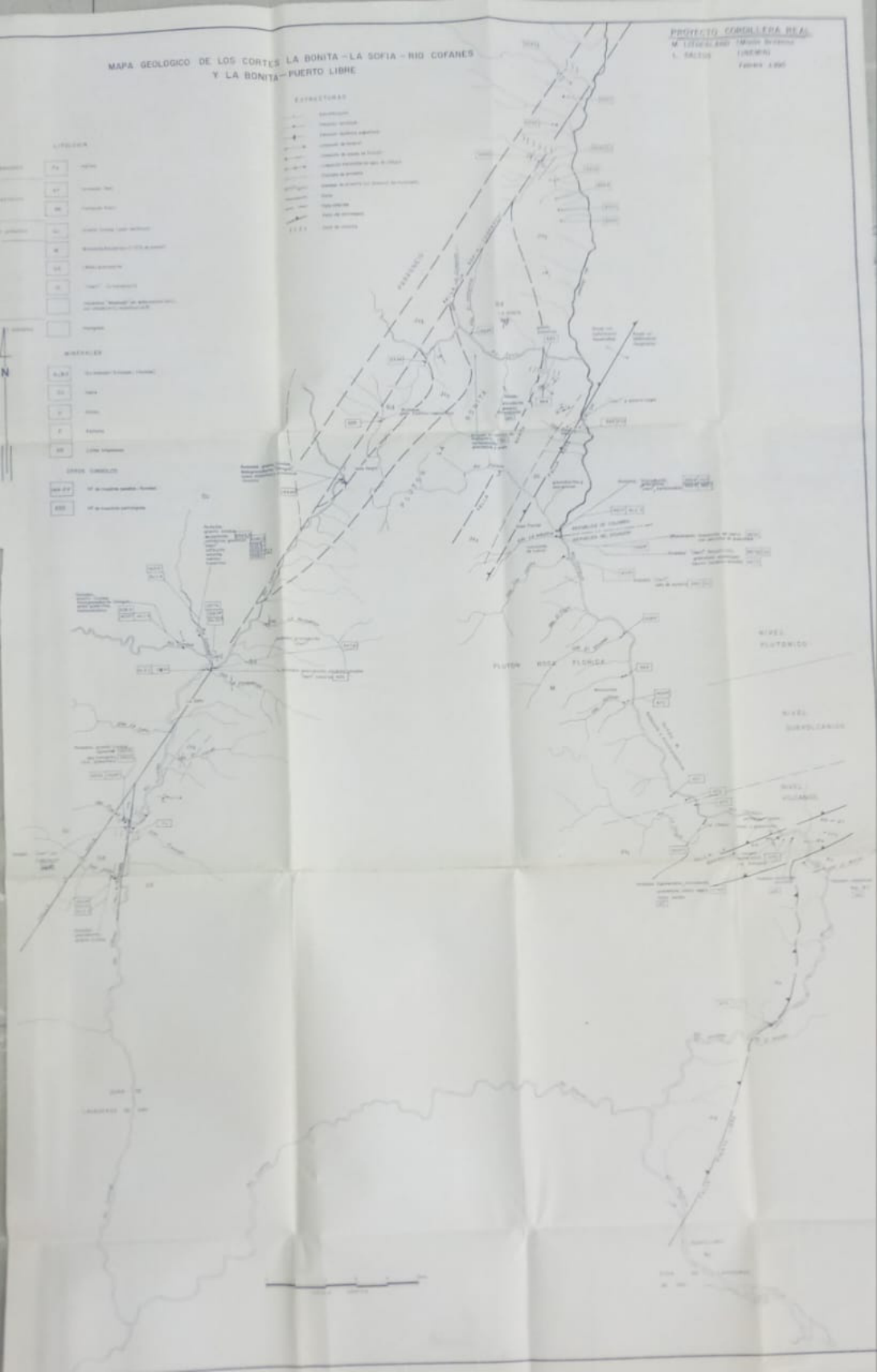
Mapa 7 Mapa geológico y de muestreo de Río Tutunangoza - Río Ojal.

Mapa 8 Mapa geológico de la Cordillera Real al norte de la línea ecuatorial (escala 1:250.000).

Mapa 9 Mapa geológico de la Cordillera Real dentro de $1^{o}15'S$ y $3^{o}S$ (escala 1:250.000).

Mapa 10 Ubicaciones de muestras de minerales pesados en el norte de la Cordillera Real (ver Apéndice 7).

Mapa 11 Ubicaciones de muestras de minerales pesados en el sur de la Cordillera Real (ver Apéndice 7).

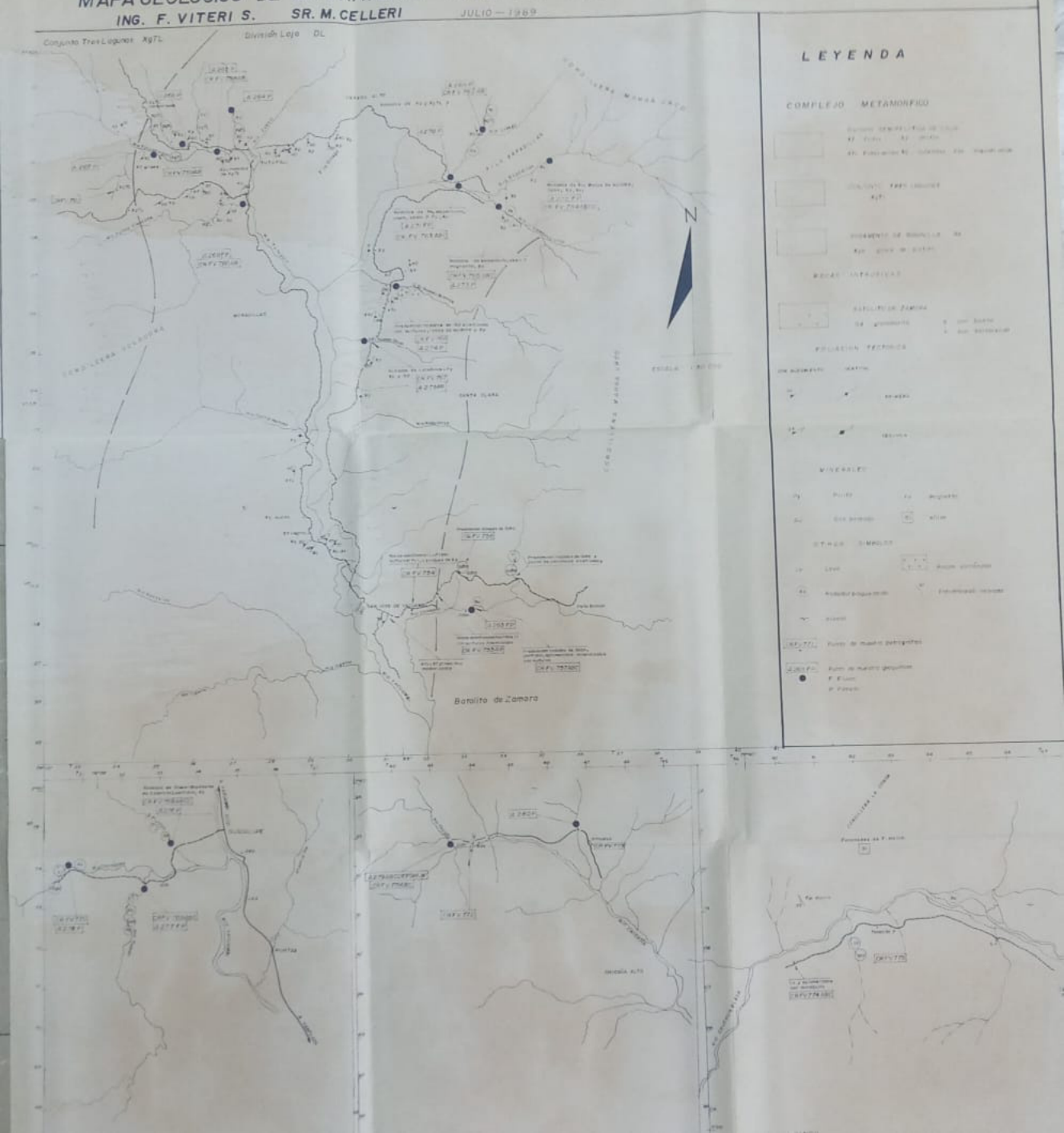

MAPA GEOLOGICO DE LOS CORTES LA BONITA - LA SOFIA - RIO COFANES
Y LA BONITA - PUERTO LIBRE
PROYECTO CORDILLERA REAL
L. SACIOS
ESTRUCTURAS
LITOLOGIA
MINERALES
N
PLUTON ROCA FLORIDA
NIVEL PLUTONICO
NIVEL SUBVOLCANICO
NIVEL VOLCANICO

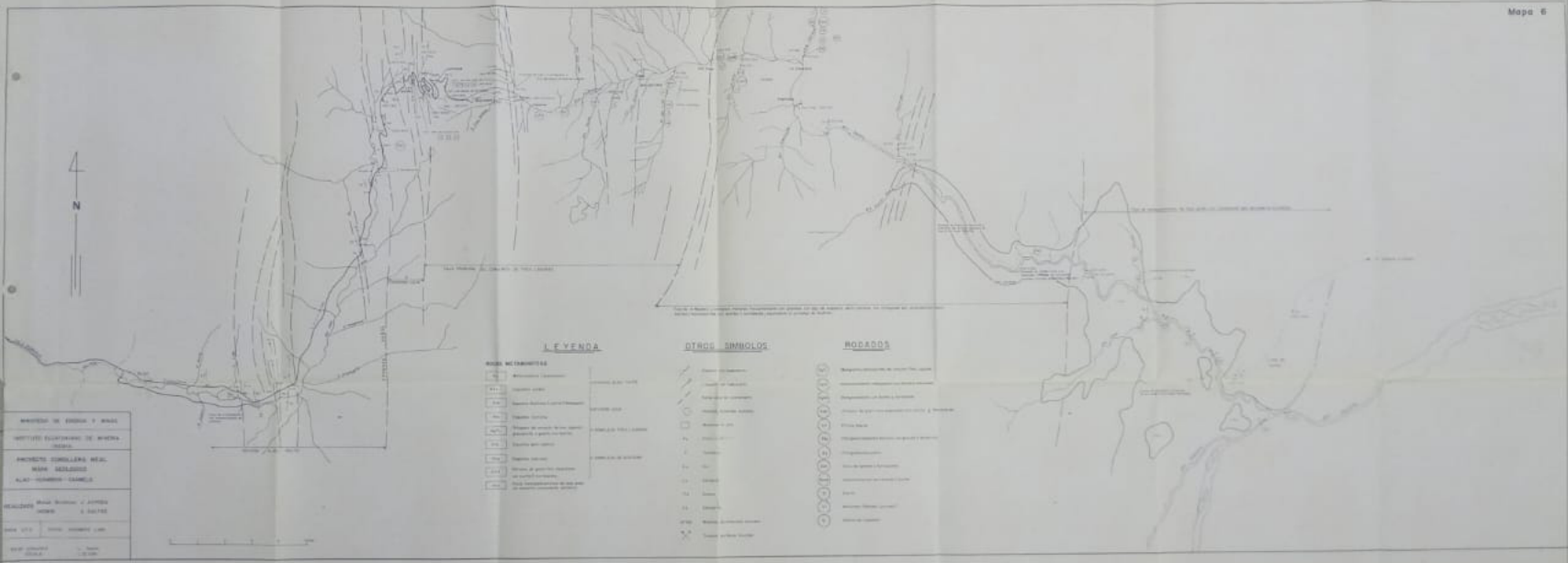
INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA— MISION BRITANICA/ODA

MAPA GEOLOGICO DE LA TRAVESIA TUTUPALI - RIO ORTEGA

ING. F. VITERI S. SR. M. CELLERI

JULIO — 1969




N
LEYENDA
OTROS SIMBOLOS
RODADOS
MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA
PROYECTO CORDILLERA NEGRA
MAPA GEOLOGICO
ALAO - HUAMBOYA - CAMILO

MAPAS GEOLOGICOS DEL SECTOR CHAMIZO GRANDE Y DEL CORTE MONTE OLIVO - RIO CONDUE

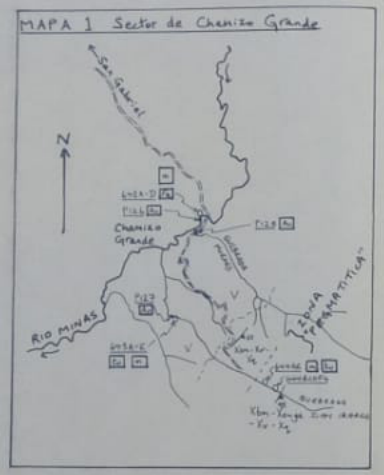
Provincias del Carchi y Napo

INEMIN - MISION BRITANICA

OCTUBRE 1989

Sr M Celleri (INEMIN)

Dr M Litherland (Mis Britanica)



CENOZOICO — V — Volcanicos

JURASICO-CENOZOICO — Granito de grano grueso (Gg), de grano medio (Gm), granodiorita (Gd); Riolita (r), porfido (pr)

PROBABLEMENTE JURASICO — Metasomatita (Xg), Cuarzita (Xq); Anfibolita (Xa), Roca verde (Xv); Xs — Esquisto pelitico; Xb — Paragneis semipelitico; Metagranodiorita (Xgd), Metadiorita (Xd); Xr — Esquisto grafitico

m — con moscovita

ga — con granate

Falla interpretada

Foliacion tectonica

Diaclasa mayor

Au — Oro laticado

Cu — Calcopirita (malachita)

Fe — Magnetita

Ti — Rutilo (magnetita-ilmenita)

M — Moscovita (magnetitas)

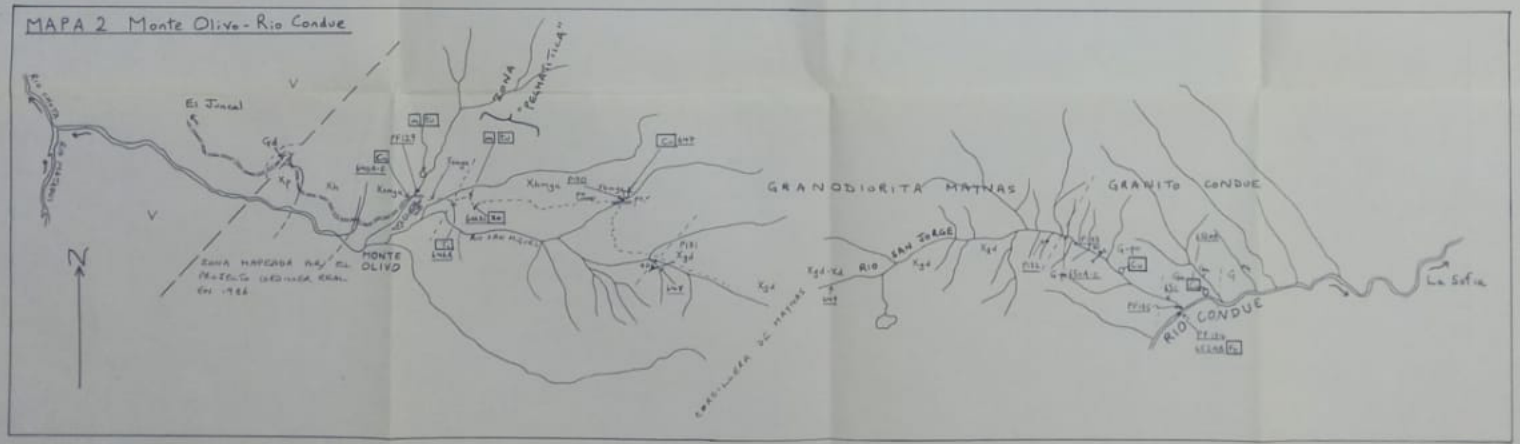
Tu — Turmalina

Zn — Zoisita (magnetitas)

Numero de muestra petrografica

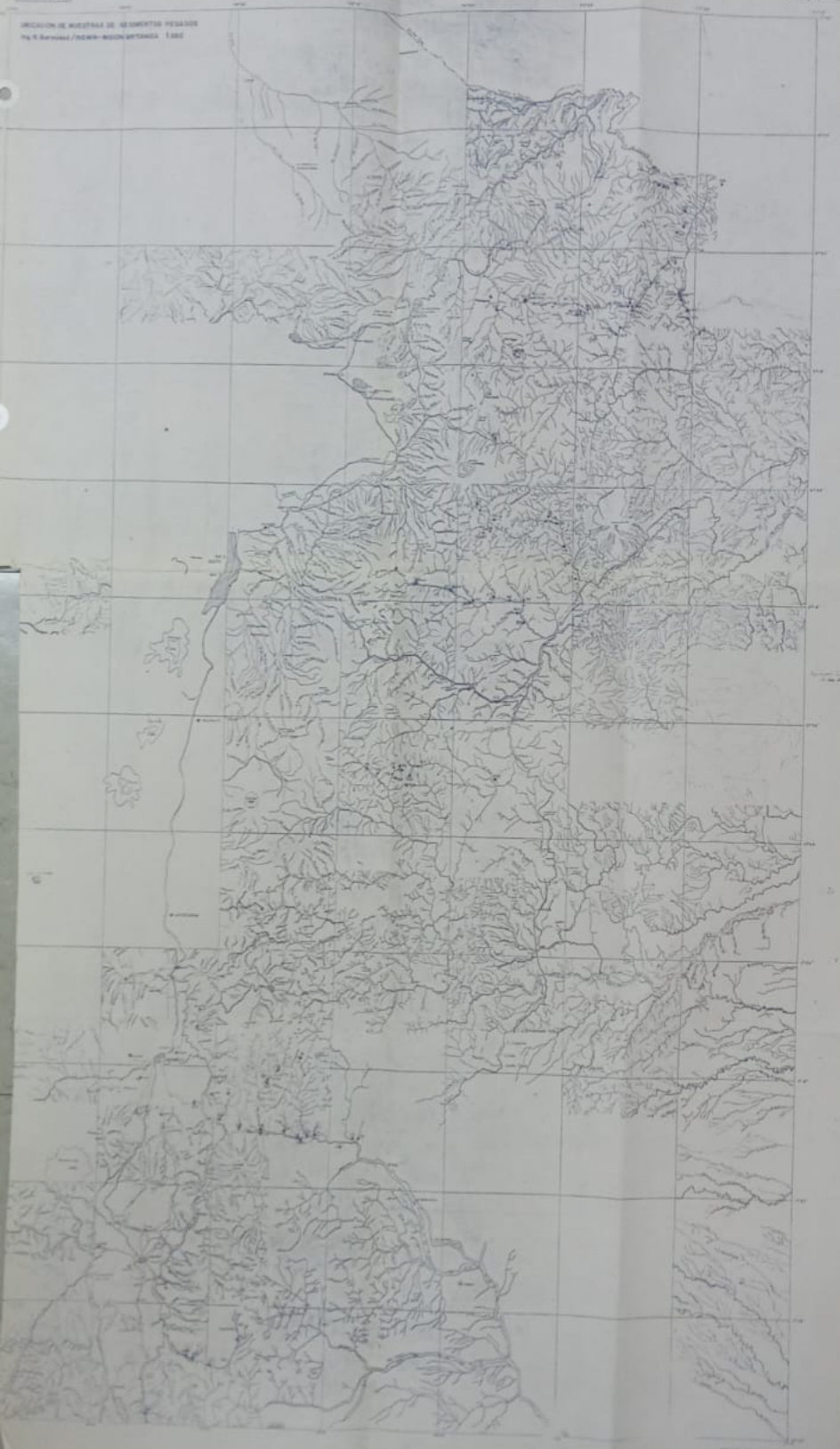
Numero de muestra geoquimica (Pr=pegmatita, F=Riolita)

O — Bloque indicado



PROYECTO CORDILLERA REAL

Mapa 10



INEMIN — MISION BRITANICA

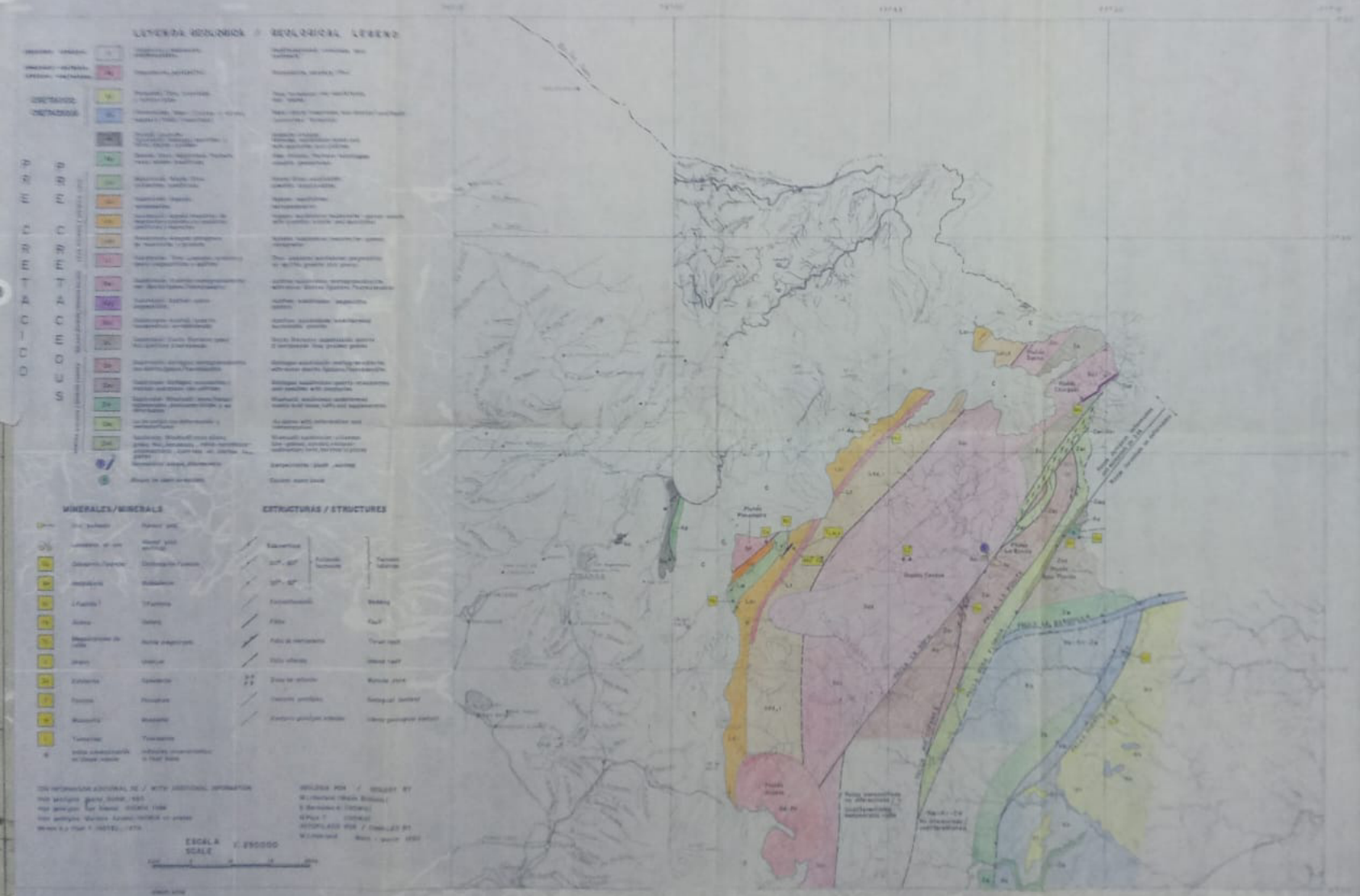
Geología de las travesías: Oñacapa-Yacuambí y Jimbilla – río Quimi

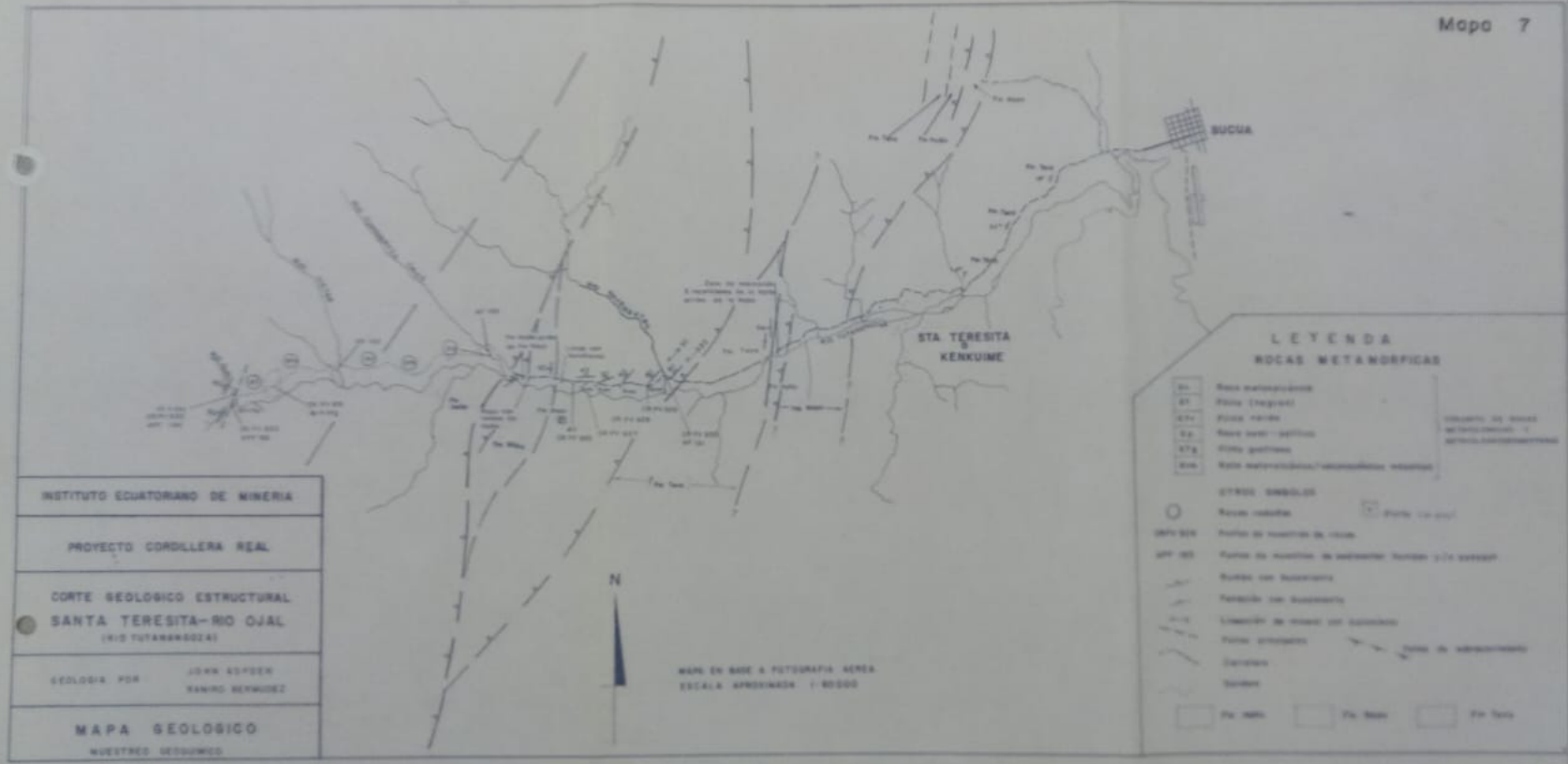
POR Dr. JOHN ASPDEN
Ing. FRANCISCO VITERI S.
Sr. MANUEL CELLERI

MAYO – 1989

MAPA GEOLOGICO DE LA CORDILLERA REAL AL NORTE DE LA LINEA ECUATORIAL
GEOLOGICAL MAP OF THE CORDILLERA REAL NORTH OF THE EQUATORIAL LINE

INEMIN - MISION BRITANICA (ODA) 1.986 - 1.990




BUCUA
STA TERESITA
KENKUIME
N
MAPA EN BASE A FOTOGRAFIA AEREA
ESCALA APROXIMADA 1:80000
INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA
PROYECTO CORDILLERA REAL
CORTE GEOLOGICO ESTRUCTURAL
SANTA TERESITA-RIO OJAL
(RIO TUTANAMBOZA)
GEOLOGIA POR
JOHN ASPDEN
RAMIRO MENDEZ
MAPA GEOLOGICO
LEYENDA
ROCAS METAMORFICAS

MAPA GEOLOGICO DE LA CORDILLERA REAL DENTRO 1°15'-3°00'S
GEOLOGICAL MAP OF THE CORDILLERA REAL BETWEEN 1°15'-3°00

MINERALES / MINERALS

ESTRUCTURAS/STRUCTURES

SECUENCIA POST-METAMORFICA

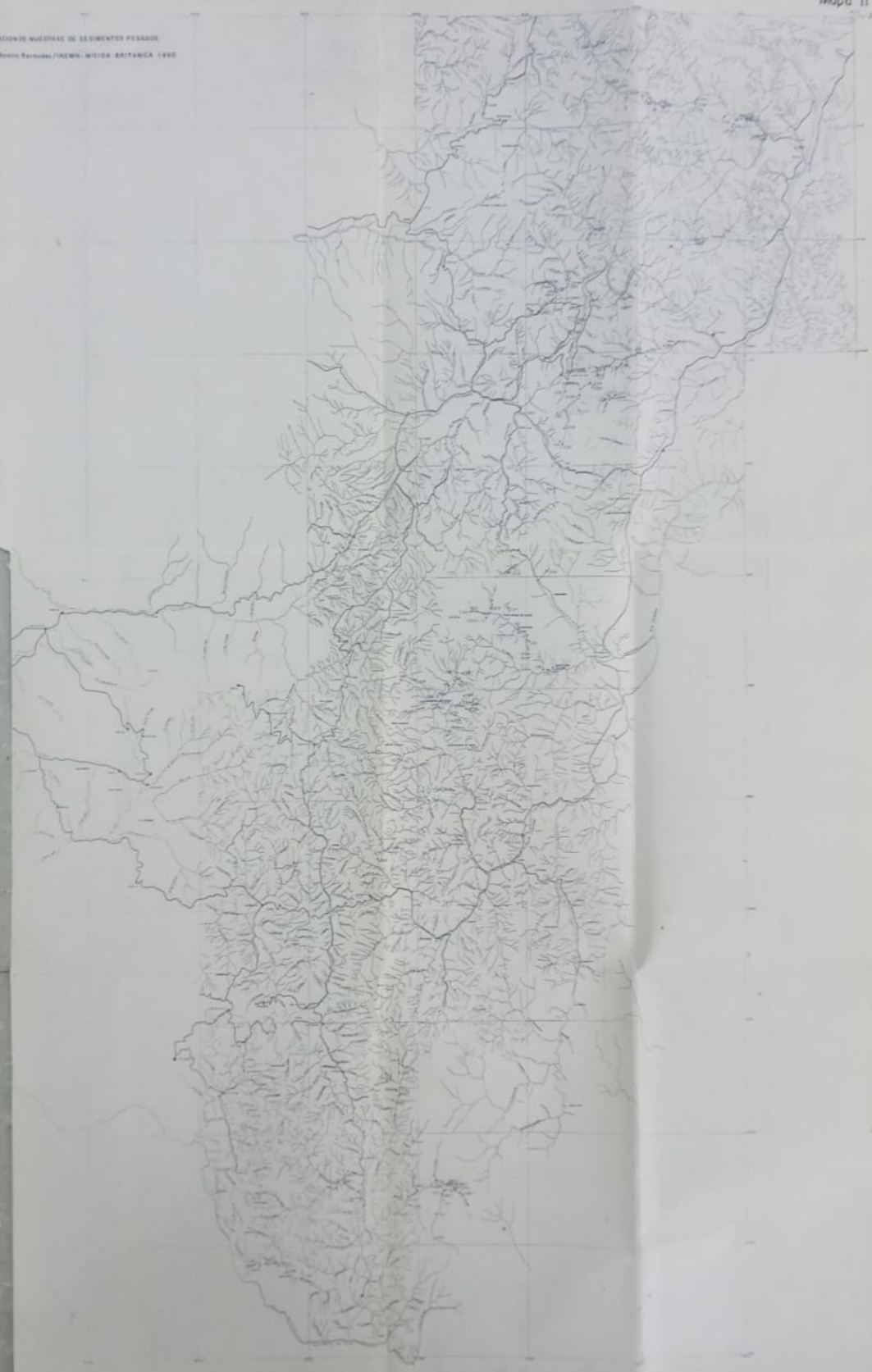
SECUENCIA METAMORFICA Y PRE-CRETACICA

POST METAMORPHIC SEQUENCE

METAMORPHIC AND PRE-CRETACEOUS SEQUENCE

LEYENDA

Mapa II

ACION DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS PESADOS

Ronny Barnadas/INEMIN-MISION BRITANICA 1990