

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE REGISTROS DE POZOS PARA LA CORRELACIÓN DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIANTES

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Betancourt M., Grisel D.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE REGISTROS DE POZOS PARA LA CORRELACIÓN DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIANTES

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Ann Mezones

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Betancourt M., Grisel D.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2009

Caracas, Febrero de 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Grisel Betancourt, titulado:

“Análisis de registros de pozos para la correlación de secuencias estratigráficas mediante técnicas estadísticas multivariantes”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Ovidio Suárez
Jurado

Prof. Paúl Romero
Jurado

Prof. Ricardo Alezones
Tutor

Ing. Ann Mezones
Tutor

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, por ser la luz que nunca falla en mí camino.

A mis padres, por ser fuente de apoyo incondicional en todos los pasos de mi vida.

A mi amor Jonathan, por siempre estar a mí lado, apoyarme y aconsejarme en los buenos y malos momentos atravesados durante toda mi carrera.

A mi tía Rosario, que Dios la tenga en su gloria, por ser fuente de inspiración a la hora de tomar la decisión de la carrera que quería ejercer en mi vida profesional, y por enseñarme con sus detalles a valorar y amar la geología.

A la casa que vence las sombras, por despejar de toda oscuridad y llenar de conocimientos todos los pensamientos, ideas y acciones que puede desarrollar y efectuar mi persona como profesional de la patria.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco los ingenieros Andrés Espeso y Ann Mezones por haberme dado la oportunidad de realizar este TEG desarrollando una de sus ideas de trabajo para la empresa, por impartirme sus conocimientos y técnicas de trabajo, por guiarme con constancia en todos los pasos seguidos para desarrollar el presente trabajo, y por todas las correcciones realizadas.

A PDVSA Intevep, por haber permitido mi presencia en la empresa para el desarrollo de este estudio y por el financiamiento de los gastos requeridos.

Al profesor Ricardo Alezones por todas sus opiniones y correcciones, y por sus conocimientos transmitidos durante toda la carrera, que me enseñaron a entender y valorar algunos de los aspectos que conforman la geología.

A todos los profesores que con sus enseñanzas me llevaron a un buen desenvolvimiento en todos los aspectos geológicos implicados en ésta tesis de grado.

A mi compañera Angélica Gudiño por ser incondicional y ayudarme siempre en los momentos más necesitados.

Y finalmente a todas las personas no nombradas en párrafos anteriores que con su ayuda y apoyo me ayudaron a cumplir con esta asignación.

Betancourt M., Grisel D.

**ANÁLISIS DE REGISTROS DE POZOS PARA LA
CORRELACIÓN DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS
MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIANTES**

**Tutor Académico: Prof. Ricardo Alezones. Tutor Industrial: Ing. Ann Mezones.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica.
Año 2009, 178 p.**

Palabras Claves: Estadística Multivariante, Análisis de Varianza, Análisis de *Clusters*, Registros de Pozo, Secciones Estratigráficas, Secuencias Estratigráficas, Correlación entre Pozos.

Resumen. El presente trabajo tiene como finalidad el análisis de registros de pozos para complementar y mejorar el proceso de correlación de secuencias estratigráficas, mediante la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes, en los estudios de yacimientos.

Para lograr el objetivo del trabajo, se evaluaron y aplicaron diversas técnicas de análisis multivariante de datos con la finalidad de optimizar el razonamiento cualitativo de los intérpretes, a través de procesos estadísticos que determinen cuantitativamente las secuencias geológicas que se encuentran presentes dentro de un perfil de pozo, y establecer posteriormente su relación espacial con otros pozos. Las técnicas estadísticas utilizadas fueron el Análisis de *Cluster*, el Análisis de la Varianza y un método de Análisis Geométrico, que fueron aplicados en datos sintéticos para determinar su aplicabilidad al problema planteado, y posteriormente se

evaluó el procedimiento con datos reales en dos campos petrolíferos de Venezuela: uno en la Cuenca de Maracaibo denominado Campo Bloque VIII, de composición predominantemente carbonática, y otro en la Cuenca de Oriente denominado campo Jobo, de composición litológica siliciclástica.

Se obtuvo como resultado varias secciones estratigráficas por casos, con las diferentes correlaciones obtenidas a partir de la correlación de los contactos detectados por cada técnica, las cuales se compararon con las secciones interpretadas por parte de la autora para cada caso, a fin de determinar el aporte y posible mejora del análisis de cada técnica en los estudios de registros de pozo y su posterior correlación, tanto para los sintéticos como para los campos Bloque VIII y Jobo.

Mediante análisis comparativos realizados sobre los resultados de la aplicación de las técnicas estudiadas con respecto al método de correlación convencional de registros de pozos, se concluye que a través de las técnicas multivariantes de análisis de datos es posible realizar el reconocimiento de las principales secuencias estratigráficas en registros de pozos, contribuyendo a determinar un primer escenario de correlación estratigráfica de estas secuencias, entre los pozos de un yacimiento de forma rápida y cuantitativa.

De las técnicas aplicadas en este estudio, el análisis de *cluster* es la técnica que tiene mayor similitud en el reconocimiento de superficies para los casos estudiados, al compararse con los contactos propuestos por el método de correlación convencional, utilizado para la definición de secuencias estratigráficas.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Resumen	vi
Índice General	viii
Lista de Figuras	xii
Lista de Tablas	xv
Introducción	1
Capítulo 1. El Problema	4
1.1 Planteamiento del Problema	4
1.2 Justificación del Problema	4
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Localización del Área de Estudio	6
Capítulo 2. Marco Teórico	8
2.1 Registros o Perfiles de Pozo	8
2.1.1 Perfil de Potencial Espontáneo	9
2.1.2 Registros Eléctricos	9
2.1.3 Registros de Micro-Resistividad	10
2.1.4 Registros de Inducción	11
2.1.5 Perfil de Rayos Gamma	11
2.1.6 Registro Sónico	11
2.1.7 Registro de Densidad	12
2.1.8 Registro de Neutrón	12

2.2 Interpretación de Registros	13
2.2.1 Correlación de Registros entre Pozos	13
2.2.2 Principios que Rigen en la Correlación Geológica ...	14
2.2.3 Técnicas de Correlación entre Perfiles	16
2.2.4 La Correlación de Perfiles de Pozo en la Descripción de Yacimientos de Hidrocarburos	18
2.3 Estadística Multivariada o Multivariante	19
2.3.1 Variable Estadística	19
2.3.1.1 Clasificación de Variables Según su Escala de Medición	20
2.3.1.2 Clasificación de Variables Según la Influencia de unas Variables sobre Otras	21
2.3.2 Clasificación de las Técnicas de Análisis Multivariado	22
2.3.2.1 Métodos de Reducción de la Dimensión	22
2.3.2.2 Métodos de Clasificación en Grupos	22
2.3.2.3 Métodos de Relación o Predicción	23
2.3.3 Análisis de Componentes Principales (PCA)	23
2.3.4 Análisis de <i>Cluster</i>	25
2.3.4.1 Distancias y Similitudes	29
2.3.4.2 Algunos Métodos de Agrupamiento	32
2.3.5 Análisis de la Varianza (ANOVA).....	36
Capítulo 3. Metodología	38
3.1 Revisión Bibliográfica	38
3.2 Evaluación y Adaptación de Técnicas de Estudio (Datos Sintéticos)	38
3.2.1 Análisis de <i>Cluster</i>	44
3.2.2 Análisis de la Varianza	49
3.2.3 Método de Análisis Geométrico	51
3.3 Implementación en Datos Reales	57

3.4 Interpretación y Análisis de Resultados	57
Capítulo 4. Marco Geológico	58
4.1 Campo Bloque VIII	58
4.1.1 Geología Regional	59
4.1.2 Geología local	61
4.1.3 Aspectos estructurales del Lago de Maracaibo.....	63
4.2 Campo Jobo	64
4.2.1 Geología Regional	66
4.2.2 Geología local	68
4.2.3 Aspectos estructurales del Área Mayor de Temblador	71
Capítulo 5. Implementación en Datos Reales	73
5.1 Caso 1. Campo Bloque VIII, Lago de Maracaibo	73
5.1.1 Recolección de Datos	73
5.1.2 Procesamiento de Datos	76
5.1.3 Implementación de Técnicas de Estudio	77
5.1.3.1 Análisis de <i>Clusters</i>	81
5.1.3.2 Análisis de la Varianza	87
5.1.3.3 Método de Análisis Geométrico	93
5.2 Caso 2. Campo Jobo, Área Mayor de Temblador	98
5.2.1 Recolección de Datos	98
5.2.2 Procesamiento de Datos	101
5.2.3 Implementación de Técnicas de estudio	101
5.2.3.1 Análisis de <i>Clusters</i>	103
5.2.3.2 Análisis de la Varianza	108
5.2.3.3 Método de Análisis Geométrico	117
Capítulo 6. Interpretación y Análisis de Resultados	122
6.1 Registros Sintéticos	122
6.1.1 Análisis de <i>Clusters</i>	123
6.1.2 Análisis de la Varianza	128
6.1.3 Análisis Geométrico	132

6.1.4 Análisis General de Resultados para el Caso de Regis- tros Sintéticos	135
6.2 Caso 1. Campo Bloque VIII, Lago de Maracaibo	137
6.2.1 Análisis de <i>Clusters</i>	137
6.2.2 Análisis de la Varianza	143
6.2.3 Análisis Geométrico	148
6.2.4 Análisis General de Resultados para el Campo Bloque VIII	152
6.3 Caso 2. Campo Jobo, Área Mayor de Temblador	153
6.3.1 Análisis de <i>Clusters</i>	153
6.3.2 Análisis de la Varianza	158
6.3.3 Análisis Geométrico	162
6.3.4 Análisis General de Resultados para el Campo Jobo	167
Conclusiones y Recomendaciones	168
Bibliografías	173

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Ubicación geográfica del Campo Bloque VIII	7
1.2	Ubicación geográfica del Campo Jobo	7
2.1	Esquema de un Registro o Perfil de Pozo	8
2.2	Esquema de clasificación de las variables según su escala de medición	20
2.3	Ejemplo de dendograma	27
2.4	Ejemplo de la distancia euclidiana	31
2.5	Ejemplo 2 de la distancia euclidiana	32
3.1	Esquema general de la metodología de trabajo aplicada	38
3.2	Formas geométricas de depositación	40
3.3	Registros sintéticos	41
3.4	Correlación litoestratigráfica de los registros sintéticos, realizada aplicando técnicas convencionales de correlación estratigráfica de registros	42
3.5	Dendograma con medida de distancia	45
3.6	Ejemplo de análisis estadístico para la determinación del método y la medida de similitud del proceso de agrupamiento (<i>clustering</i>)	47
3.7	Contactos obtenidos por el análisis de <i>cluster</i> (dendogramas)	48
3.8	Contactos obtenidos por el análisis de la varianza	50
3.9	Contactos obtenidos por el método de análisis geométrico	52
3.10	Correlación de contactos determinados mediante el análisis de <i>cluster</i> (dendogramas)	54
3.11	Correlación de contactos obtenidos mediante el análisis de la varianza	55
3.12	Correlación de contactos obtenidos por el método de análisis geométrico	56
4.1	Mapa de ubicación del campo Bloque VIII	58
4.2	Ubicación de la Cuenca Petrolífera de Maracaibo	59
4.3	Columna Estratigráfica y Registro Tipo del Campo Bloque VIII	61
4.4	Mapa de ubicación del Campo Jobo	64
4.5	Localización del Campo Jobo, en el Área Mayor del Temblador	65

4.6	Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus Provincias	66
4.7	Columna Estratigráfica y Registro Tipo del Campo Jobo	68
5.1	Mapa base del área de estudio, Campo Bloque VIII	74
5.2	Registros de pozo Campo Bloque VIII	78
5.3	Correlación litoestratigráfica realizada aplicando las técnicas convencionales	79
5.4	Análisis estadístico del Campo Bloque VIII, para la determinación del método y la medida de similaridad del proceso de agrupamiento (<i>clustering</i>)	82
5.5	Dendograma con señalamiento de <i>clusters</i> principales	83
5.6	Contactos obtenidos por la técnica análisis de <i>cluster</i> (dendogramas)	84
5.7	Correlación de contactos determinados mediante la técnica análisis de <i>cluster</i> (dendogramas)	86
5.8	Contactos obtenidos por la técnica análisis de la varianza	89
5.9	Correlación de contactos determinada mediante la técnica análisis de la varianza	91
5.1	Contactos obtenidos por el método de análisis geométrico	94
5.11	Correlación de contactos determinada mediante el método de análisis geométrico	96
5.12	Mapa base del área de estudio, Campo Jobo	99
5.13	Registros de pozo Campo Jobo	102
5.14	Correlación litoestratigráfica realizada aplicando las técnicas convencionales	104
5.15	Sección estratigráfica con las superficies de referencia determinadas por la intérprete para el análisis de las diferentes técnicas aplicadas en este estudio	106
5.16	Análisis estadístico del Campo Jobo, para la determinación del método y la medida de similaridad del proceso de agrupamiento (<i>clustering</i>)	107
5.17	Dendograma con señalamiento de <i>clusters</i> principales	109
5.18	Contactos obtenidos por la técnica análisis de <i>cluster</i> (dendogramas)	110
5.19	Correlación de contactos determinados mediante la técnica análisis de <i>cluster</i> (dendogramas)	112
5.2	Contactos obtenidos por la técnica análisis de la varianza	114
5.21	Correlación de contactos determinada mediante la técnica análisis de la varianza	116
5.22	Contactos obtenidos por el método de análisis geométrico	118

5.23	Correlación de contactos determinada mediante el método de análisis geométrico	120
6.1	Superficies de referencia que constituyen los contrastes más representativos de la sección de registros sintéticos	122
6.2	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de <i>clusters</i> y las interpretadas por correlación convencional, caso de sintéticos	127
6.3	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de la varianza y las interpretadas por correlación convencional, caso de sintéticos	131
6.4	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis geométrico y las interpretadas por correlación convencional, caso de sintéticos	136
6.5	Correlación litoestratigráfica realizada aplicando las técnicas convencionales	138
6.6	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de <i>clusters</i> y las interpretadas por correlación convencional, Campo Bloque VIII	143
6.7	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de la varianza y las interpretadas por correlación convencional, Campo Bloque VIII	147
6.8	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis geométrico y las interpretadas por correlación convencional, Campo Bloque VIII	152
6.9	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de <i>clusters</i> y las interpretadas por correlación convencional, Campo Jobo	157
6.1	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de la varianza y las interpretadas por correlación convencional, Campo Jobo	162
6.11	Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis geométrico y las interpretadas por correlación convencional, Campo Jobo	166

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
3.1	Profundidades de los contactos geológicos interpretados en los registros sintéticos mostrados en la sección de estudio	43
3.2	Tabla de profundidad de contactos obtenidos a partir del análisis de <i>cluster</i> (dendogramas)	49
3.3	Tabla de profundidad de contactos obtenidos a partir del análisis de la varianza	51
3.4	Tabla de profundidad de contactos obtenidos a partir del método de análisis geométrico	53
3.5	Superficies obtenidas a partir de la correlación de los contactos detectados por el análisis de <i>clusters</i> , Registros Sintéticos	54
3.6	Superficies obtenidas a partir de la correlación de los contactos detectados por el análisis de la varianza, Registros Sintéticos	55
3.7	Superficies obtenidas a partir de la correlación de los contactos detectados por el análisis de geométrico, Registros Sintéticos	56
5.1	Tabla con lista de registros disponibles para cada pozo, Campo Bloque VIII	75
5.2	Tabla de registros comunes para cada pozo, Campo Bloque VIII	75
5.3	Matriz de PCA, Campo Bloque VIII	77
5.4	Profundidad de los contactos geológicos interpretados en los pozos, aplicando las técnicas convencionales de correlación	80
5.5	Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir de la técnica análisis de <i>cluster</i> (dendogramas)	85
5.6	Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de <i>clusters</i> (dendogramas), Campo Bloque VIII	87
5.7	Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir de la técnica análisis de la varianza	90
5.8	Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de la varianza, Campo Bloque VIII	92
5.9	Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir del método de análisis geométrico	95

5.10	Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de geométrico, Campo Bloque VIII	97
5.11	Tabla con lista de registros disponibles para cada pozo, Campo Jobo	100
5.12	Tabla de registros comunes para cada pozo, Campo Jobo	100
5.13	Matriz de PCA, Campo Jobo	102
5.14	Profundidad de los contactos geológicos interpretados en los registros de pozos mostrados en la sección de estudio	105
5.15	Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir de la técnica análisis de cluster (dendogramas)	111
5.16	Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de cluster (dendogramas), Campo Jobo	113
5.17	Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir de la técnica análisis de la varianza	115
5.18	Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de la varianza, Campo Jobo	117
5.19	Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir del método de análisis geométrico	119
5.20	Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de geométrico, Campo Jobo	121
6.1	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el método convencional, Registros Sintéticos	123
6.2	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de <i>clusters</i> , Registros Sintéticos	124
6.3	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color amarillo, de la técnica de análisis de <i>clusters</i> en el caso de sintéticos	124
6.4	Equivalencias en color amarillo entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de <i>clusters</i> , Registros Sintéticos	125
6.5	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de <i>clusters</i> , Registros Sintéticos	126
6.6	Profundidad establecida por pozo para las superficies correlacionadas por el análisis de la varianza, Registros Sintéticos	128
6.7	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color amarillo, de la técnica de análisis de la varianza en el caso de sintéticos	129
6.8	Equivalencias en color amarillo entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de la varianza, Registros Sintéticos	129

6.9	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de la varianza, Registros Sintéticos	130
6.10	Profundidad establecida por pozo para las superficies correlacionadas por el análisis geométrico, Registros Sintéticos	132
6.11	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color amarillo, del método de análisis geométrico en el caso de sintéticos	133
6.12	Equivalencias en color amarillo entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis geométrico, Registros Sintéticos	133
6.13	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis geométrico, Registros Sintéticos	135
6.14	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el método convencional, Campo Bloque VIII	139
6.15	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de <i>clusters</i> , Campo Bloque VIII	139
6.16	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color verde, de la técnica de análisis de <i>clusters</i> del Campo Bloque VIII	140
6.17	Equivalencias en color verde entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de <i>clusters</i> , Campo Bloque VIII	141
6.18	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de <i>clusters</i> , Campo Bloque VIII	142
6.19	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de la varianza, Campo Bloque VIII	144
6.20	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color verde, de la técnica de análisis de la varianza del Campo Bloque VIII	145
6.21	Equivalencias en color verde entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de la varianza, Campo Bloque VIII	146
6.22	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de la varianza, Campo Bloque VIII	147
6.23	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis geométrico, Campo Bloque VIII	148
6.24	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color verde, del método de análisis geométrico del Campo Bloque VIII	149
6.25	Equivalencias en color verde entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis geométrico, Campo Bloque VIII	150

6.26	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis geométrico, Campo Bloque VIII	151
6.27	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el método convencional, Campo Jobo	154
6.28	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de <i>clusters</i> , Campo Jobo	154
6.29	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color anaranjado, de la técnica de análisis de <i>clusters</i> del Campo Jobo	155
6.30	Equivalencias en color anaranjado entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de <i>clusters</i> , Campo Jobo	155
6.31	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de <i>clusters</i> , Campo Jobo	156
6.32	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de la varianza, Campo Jobo	158
6.33	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color anaranjado, de la técnica de la varianza del Campo Jobo	159
6.34	Equivalencias en color anaranjado entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de la varianza, Campo Jobo	160
6.35	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de la varianza, Campo Jobo	161
6.36	Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis geométrico, Campo Jobo	163
6.37	Superficies consideradas para el análisis comparativo en color anaranjado, del método de análisis geométrico del Campo Jobo	164
6.38	Equivalencias en color anaranjado entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis geométrico, Campo Jobo	164
6.39	Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis geométrico, Campo Jobo	165

INTRODUCCIÓN

En la actualidad y desde hace varios años atrás, el estudio de yacimientos petrolíferos involucra el procesamiento de una serie de datos provenientes de núcleos, cortes geológicos, perfiles de pozos, sísmica, entre otros. Todo esto se realiza con el fin de desarrollar un modelo de las características y correspondencia lateral del yacimiento, que permita explicar detalladamente la geometría y la arquitectura del reservorio.

El estudio de correlación de registros de pozo, requiere de la ejecución de ciertos pasos detallados y precisos por parte de los expertos, que consumen un tiempo prolongado, ya que se realiza de manera visual y subjetiva, lo cual da como resultado gran variedad de soluciones posibles que no incumplen las técnicas generales de correlación. En estos casos, la determinación de un patrón definitivo genera un problema delicado, ya que las correlaciones no son únicas, por lo tanto, es útil desarrollar e implementar técnicas que, con un tiempo reducido e involucrando la lógica humana, puedan permitir correlacionar registros con soluciones únicas y confiables.

Hace más de treinta años, que se han estado realizando estudios que permitan solucionar estos inconvenientes, como lo es el caso del desarrollo e implementación de sistemas expertos, las redes neurales, la programación interactiva, estadística, estadística multivariante, y las combinaciones entre algunas de éstas. Doveton (1994), en su libro de la AAPG “*Computer Application in Geology*” No. 2, se refiere al Modelo de Reconocimiento Multivariante y a Métodos de Clasificación, para datos de registros de pozo, usando el Análisis de Componentes Principales y el Análisis de *Clúster*.

Lim, Kang y Kim (1997), utilizan técnicas de análisis estadístico multivariado para determinar electrofacies a partir de registros de pozo, a través del Análisis Estadístico Multivariado de Componentes Principales y la toma de decisiones basadas en números y no únicamente en lógica y razonamiento.

Olea y Davis (1986), utilizan técnicas de análisis estadístico para la correlación litoestratigráfica de manera sistemática, a través de la información provista de registros de pozo, donde utilizan la correlación cruzada como la medida de similitud entre registros de pozo por sus propiedades estadísticas deseables y la facilidad de computación.

En relación a lo descrito anteriormente, el presente trabajo tiene como objetivo fundamental experimentar la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes para determinar secuencias geológicas en los estudios de perfiles de pozo, que permitan proveer o facilitar soluciones que contribuyan al proceso de correlación entre registros.

En vista de la problemática explicada en párrafos anteriores, se pretenden aplicar diversas técnicas de análisis multivariante de datos, con la finalidad de transformar el razonamiento cualitativo de los intérpretes expertos, en funciones matemáticas y/o procesos estadísticos que determinen cuantitativamente el método implementado, para definir las secuencias geológicas que se encuentran presentes dentro de un registro de pozo, y su posterior relación espacial con otros registros.

El uso de técnicas de análisis estadístico multivariante, complementará el desempeño de las técnicas de análisis estratigráfico y correlación de perfiles, utilizadas en la caracterización de yacimientos.

Se procederá a implementar un conjunto de técnicas estadísticas basadas sólo en la respuesta de los registros de pozos, las cuales podrán permitir identificar y luego correlacionar secuencias geológicas.

Las técnicas a implementar serán el análisis de *clusters*, el análisis de la varianza, y un método de análisis geométrico, las cuales serán aplicadas en datos sintéticos, para así determinar el grado de incertidumbre asociado a ellas; y posteriormente evaluar el procedimiento con datos reales, tanto en el Campo Bloque VIII de composición litológica predominantemente carbonática, ubicado en la Cuenca de Maracaibo, como en el Campo Jobo, de composición litológica siliciclástica, localizado en la Cuenca de Oriente.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El análisis y la correlación de secuencias geológicas mediante perfiles de pozos consiste en describir objetivamente las formaciones atravesadas, durante la perforación, analizando las respuestas de los perfiles, con lo que se busca el reconocimiento de las distintas unidades geológicas fundamentales, a fin de predecir su evolución vertical, continuidad lateral y asociación con otras secuencias.

En la exploración y producción de hidrocarburos, la identificación de estas secuencias es de gran importancia para la interpretación del subsuelo. Estas secuencias geológicas son sumamente difíciles de establecer con seguridad, ya que su identificación se ha realizado tradicionalmente utilizando un criterio visual. Este criterio consiste en dividir el intervalo de estudio en secuencias a partir de un análisis de las variaciones de amplitud de las curvas registradas, para posteriormente reconocer un conjunto de características específicas que diferencien entre sí, cada una de las secuencias que conformen la columna geológica en cada pozo.

El criterio antes descrito, es variable entre diferentes intérpretes, lo que comúnmente da lugar a resultados distintos partiendo de un mismo grupo de datos estudiados. La identificación de estas secuencias geológicas involucra, además, un laborioso proceso manual que ocasiona un elevado tiempo de ejecución durante el desarrollo de este proceso.

De generarse una técnica cuantitativa para identificar y correlacionar secuencias geológicas basadas únicamente en la respuesta de los registros de pozos,

se contribuiría a mejorar la caracterización de reservorios de los campos reduciendo el tiempo de análisis por parte del intérprete y reduciendo el grado de subjetividad que involucra este proceso.

En vista de lo anterior, en este estudio se pretenden aplicar diversas técnicas de análisis multivariante de datos, a fin de transformar los criterios de interpretación cualitativa utilizados por el intérprete, en funciones matemáticas o procesos estadísticos que determinen de una forma más cuantitativa las distintas clases o grupos de respuesta física similar, permitiendo reconocer las secuencias geológicas identificables dentro de un registro de pozo, y posteriormente entre varios registros de pozos.

1.2 Justificación del Problema

A lo largo del tiempo la determinación de las secuencias geológicas se ha realizado de manera subjetiva y requiere de las habilidades de reconocimiento de patrones por parte del intérprete. Es por ello, que se pretende lograr reconocer las secuencias geológicas en registros de pozos a partir de la transformación de los criterios visuales de interpretación en criterios cuantitativos. Esto con el fin de reducir tanto la subjetividad asociada al proceso de identificación de estas secuencias, como el tiempo de ejecución del mismo.

A menudo no se obtienen correlaciones únicas por parte de los intérpretes, por lo tanto, se espera lograr la implementación de una serie de procedimientos y criterios, para la determinación de secuencias estratigráficas y su correlación entre registros de pozo.

Sumado a esto, la identificación de secuencias geológicas usando técnicas de análisis estadístico multivariante, aportará un enfoque alternativo de las técnicas de

análisis estratigráfico y correlación de registros, utilizadas en la caracterización de yacimientos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El objetivo general de esta tesis consiste en el análisis de perfiles de pozo, a fin de identificar secuencias geológicas a lo largo de la columna estratigráfica atravesada, para facilitar el proceso de correlación estratigráfica entre pozos en los estudios de yacimientos, mediante la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Implementar técnicas de análisis estadístico multivariante en registros de pozo, para la identificación de superficies que limitan secuencias estratigráficas.
- Aplicar y validar el procedimiento desarrollado para la identificación de superficies que limitan secuencias estratigráficas en datos sintéticos.
- Análisis del grado de incertidumbre asociado a cada técnica aplicada.
- Evaluar el procedimiento desarrollado en datos reales de dos campos petrolíferos de Venezuela.

1.4 Localización del Área de Estudio

Las técnicas estudiadas en esta tesis fueron evaluadas en dos campos petrolíferos de Venezuela. El primero de ellos, el Campo Bloque VIII, está ubicado en la zona central de la Cuenca de Maracaibo (figura 1.1). El segundo campo de nombre Campo Jobo, se ubica en el estado Monagas, a unos 100 km al sur de la

ciudad de Maturín, a unos 70 km al noroeste del río Orinoco en la Cuenca de Oriente de Venezuela (figura 1.2).

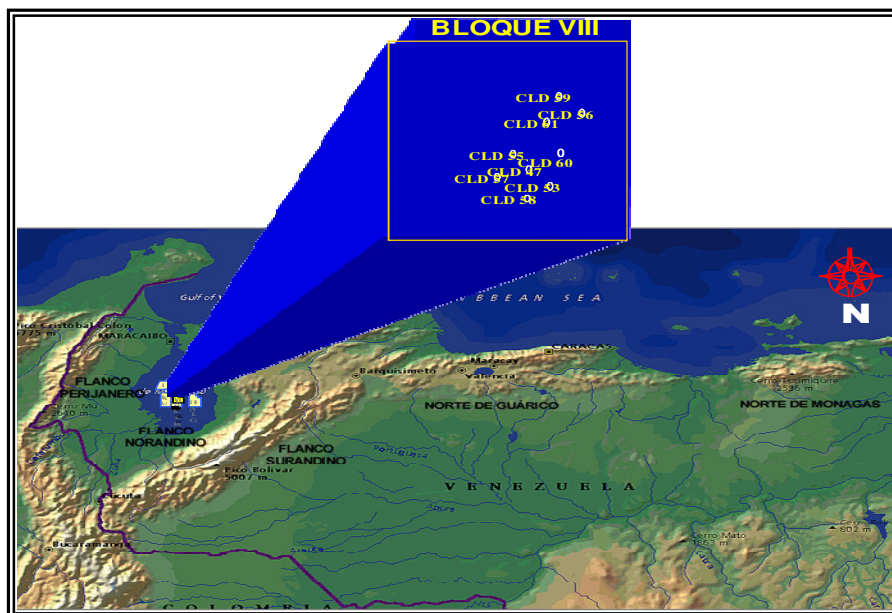


Figura 1.1. Ubicación geográfica del Campo Bloque VIII.

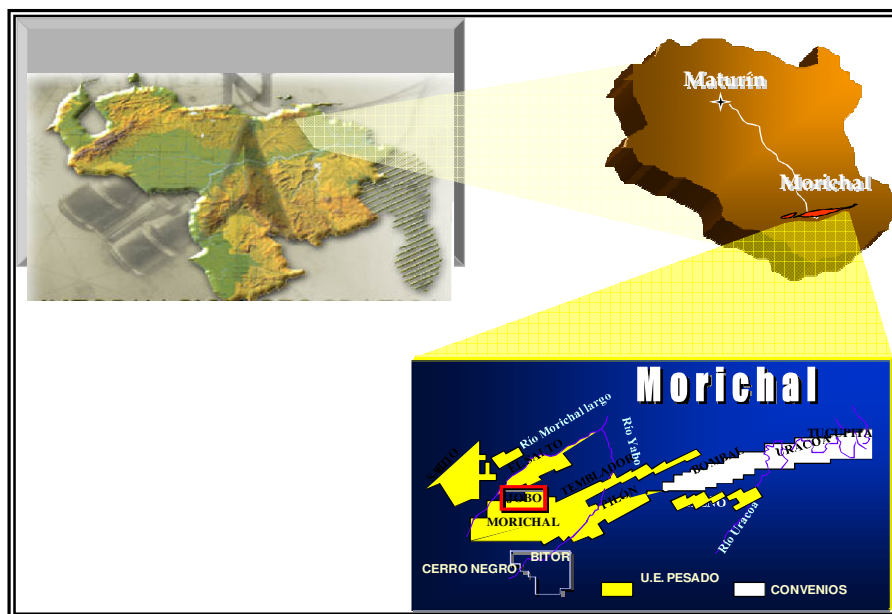


Figura 1.2. Ubicación geográfica del Campo Jobo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Registros o Perfiles de Pozo

De acuerdo con Landa (2004), los registros o perfiles de pozo son una herramienta muy poderosa en el área de las ciencias de la tierra, pues proporcionan información “in situ” del subsuelo, de manera indirecta.

El registro de pozo es un conjunto de datos que contiene la información de una o varias propiedades físicas medidas a lo largo de un pozo. Típicamente se representa la propiedad medida en el eje horizontal en función de la profundidad representada en el eje vertical. En la figura 2.1, se muestra el esquema de un perfil de pozo.

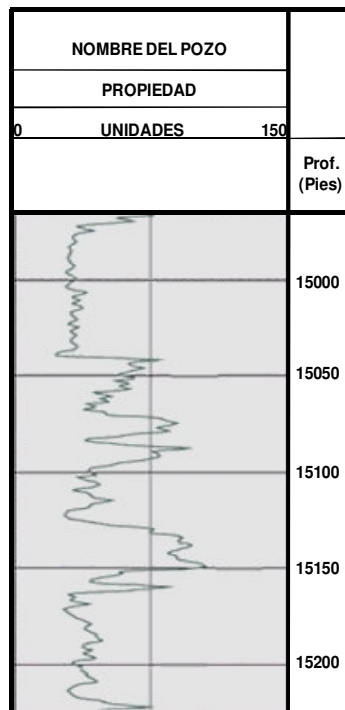


Figura 2.1. Esquema de un Registro o Perfil de Pozo.

De forma general, los perfiles de pozo pueden clasificarse de acuerdo a la propiedad medida en registros eléctricos, acústicos, nucleares y electromagnéticos. Entre los registros o perfiles más comunes están:

2.1.1 Perfil de Potencial Espontáneo:

Llamado comúnmente “SP” (Spontaneous Potential) por sus siglas en inglés, fue descubierto accidentalmente en los principios del perfilaje eléctrico, cuando se notó la presencia de un pequeño potencial natural que variaba punto a punto (Landa, 2004).

La curva de potencial espontáneo (SP) es un registro de la diferencia de potencial de un electrodo móvil en el pozo y un potencial fijo en un electrodo de superficie, en función de la profundidad (Schlumberger, 1975).

La corriente espontánea se genera debido a que las formaciones contienen agua, la cual porta componentes salinos, y en la cual se genera movimiento entre los iones que conforman estas sales, por lo que se genera entonces la corriente eléctrica. La técnica utilizada calculando estas corrientes eléctricas es llamada Registro de Potencial Espontáneo “SP”. Los nombres más comunes utilizados para este tipo de registros son: SP (Potencial Espontáneo), y SSP (Potencial Espontáneo Estático).

2.1.2 Registros Eléctricos:

Introducidos en la primera mitad del siglo XX, por los hermanos Schlumberger, también llamados perfiles convencionales de resistividad, se basan en la dependencia de la resistividad (y por tanto, la conductividad) de una formación con la geometría estructural de los poros; la cantidad de fluido presente y la resistividad de agua de formación (Landa, 2004). En otras palabras, es una técnica que mide la resistividad de cada uno de los estratos, es decir, la resistencia que opone un material

al paso de la corriente eléctrica a lo largo de toda la formación. Los registros eléctricos son de mucha utilidad porque permiten identificar el tipo de material en función de su resistividad característica (Falla, 2005).

Los nombres más comunes utilizados para este tipo de registros son: RD (Resistividad Profunda), RS (Resistividad Somera), RM (Resistividad Media), ASN (Normal Corta Amplificada), LLD (Resistividad Lateral Profunda del Registro o del Laterolog), RLL8 (Resistividad Lateral somera del Registro –Laterolog- o Laterolog 8), LN (Resistividad Normal Larga), SN16 (Resistividad Normal Corta), RFOC (Enfoque Real Calibrado), FR (Resistividad Enfocada), , LLS (Resistividad Lateral somera del Registro o Laterolog), SFL (Resistividad Esféricamente Enfocada), SN (Resistividad Normal Corta), ACCU (Nivel del Flujo de Retorno del Lodo (sensor acústico)), RES (Resistividad).

2.1.3 Registros de Micro-Resistividad:

Según Schlumberger (1975), los dispositivos micro-resistivos permiten medir la resistividad de la zona lavada (zona muy cerca de la pared del pozo, donde toda el agua de formación y parte de los hidrocarburos, si es que están presentes, es desplazada por el filtrado del lodo), y delimitar las capas permeables mediante la detección del revoque (costra, capa, cubierta) del lodo. El micro-perfil hace una delineación muy precisa de estratos permeables en cualquier tipo de formación. Los aparatos micro-resistivos dan un valor aceptable de resistividad de la zona lavada en una gama mayor de condiciones.

Los nombres más comunes utilizados para este tipo de registros son: MINV (Micro Resistividad Inversa), MLL (Micro Resistividad del Registro Lateral), MNOR (Micro Resistividad Normal), y MSFL (Micro Resistividad Esféricamente Enfocada).

2.1.4 Registros de Inducción:

Siguiendo varias definiciones de los perfiles de inducción y de acuerdo con Dresser Atlas (1974), éstos han probado ser el mejor medio para obtener las resistividades de las formaciones atravesadas por un pozo que contiene lodo a base de aceite. La herramienta de inducción está diseñada para registrar las conductividades profundas dentro de la formación, disminuyendo los efectos de la zona invadida (zona lavada), al mismo tiempo que mantiene una buena definición de las capas. Los nombres más comunes utilizados para este tipo de registros son: ILD (Resistividad de Inducción Profunda), ILM (Resistividad de Inducción Media).

2.1.5 Perfil de Rayos Gamma:

Desarrollado en 1935 y colocado en el mercado en 1940, fue la primera herramienta capaz de medir características de las formaciones con presencia de las tuberías. Indica la radioactividad natural de las formaciones, cuya intensidad depende de las concentraciones de U (Uranio), Torio (Th) y el isótopo K40 (Potasio 40). Estos emiten continuamente emisiones gamma, que son emisiones de alta energía, durante su decaimiento a otros isótopos o elementos estables (Landa, 2004). Los nombres más comunes utilizados para este tipo de registros son: GR (Rayos Gamma), que mide únicamente la radioactividad total.

2.1.6 Registro Sónico:

El perfil Sónico es un registro de la profundidad contra Δt , el tiempo requerido por una onda sónica compresional para recorrer un pie de formación. Conocido también como “tiempo de tránsito”, Δt es el valor recíproco de la velocidad de una onda compresional de sonido. El tiempo de tránsito en una formación dada depende de su litología y su porosidad (Schlumberger, 1975).

Los nombres más comunes utilizados para este tipo de registros son: DTE (Delta-T, Sónico, o Tiempo de Transito del Intervalo Estándar), DT (Delta-T, Sónico, o Tiempo de Transito del Intervalo), y AC (Serie de Conductividad Lateral del Registro o Laterolog).

2.1.7 Registro de Densidad:

Introducido a mediados del siglo XX, mide la densidad total de la formación (incluyendo el fluido presente en el espacio poral) enviando un haz de rayos gamma de 662 Kev de energía y registrando la intensidad de la radiación gamma en los detectores. La intensidad recibida es una función exponencial de la densidad del medio, por lo que a mayor densidad, mayor intensidad recibida (Landa, 2004). El nombre más común utilizado para este tipo de registro es RHOB (Volumen de Densidad).

2.1.8 Registro de Neutrón:

Presentado a principios de la década de los cuarenta, posee generalmente una pequeña profundidad de investigación (entre 15 y 25 cm.). Mide la reacción de los neutrones emitidos con los átomos de la formación y los fluidos asociados (Landa, 2004).

Los valores de porosidad de neutrón varían según la litología. En lutitas son bastante dispersos, ya que oscilan entre 25% y 75%, sin embargo, generalmente se ubican entre un 40% y 50%. En carbón se detectan valores altos, cercanos al 50%; en areniscas, se encuentran mediciones entre un 0% y 30% (Landa, 2004). Los nombres más comunes utilizados para este tipo de registros son: CNL (Registro de Neutrón Compensado), SNL (Registro de Neutrón Suavizado Cerca del Detector sólo de Porosidad), NPHI (Porosidad de Neutrón Termal).

2.2 Interpretación de Registros

Los Registros de Pozo se utilizan en la exploración y en la caracterización de yacimientos de hidrocarburos para obtener una mayor información de los parámetros físicos y geológicos del pozo. En cuanto a parámetros físicos, comprenden el estudio cuantitativo de las propiedades de la roca y los fluidos presentes en la misma, además de la mineralogía de las potenciales rocas reservorio.

A su vez, los registros de pozo sirven para la interpretación geológica, donde se procede a identificar pozo a pozo unidades de roca del subsuelo con características geológicas similares.

2.2.1 Correlación de Registros entre Pozos

De acuerdo a lo propuesto por Alzate, Branch, Suárez y Vega (2006), la correlación de registros entre pozos pretende determinar la extensión lateral de las formaciones de interés y la relación espacial entre éstas a lo largo y ancho del yacimiento, a partir del reconocimiento de patrones en los diferentes perfiles registrados para zonas específicas de la sección de estudio.

Para llevar a cabo esta tarea, los geólogos primero identifican en la sección registrada de la columna estratigráfica, patrones característicos también conocidos como marcadores, que son de fácil identificación en los registros de pozo y luego buscan su correspondencia entre los diferentes pozos del yacimiento a través del cotejo de los patrones identificados (Alzate “et al.”, 2006).

Mediante el uso efectivo de las técnicas de correlación de perfiles de pozo pueden detectarse fenómenos geológicos tales como secuencias faltantes debidas a una falla, a erosión, a una discordancia, secciones condensadas, entre otros.

2.2.2 Principios que Rigen la Correlación Geológica

Algunos de los principios y conceptos en los cuales se fundamenta el proceso de correlación son presentados y descritos a continuación:

El Principio de Causalidad

Según Serra (1998), el principio de causalidad establece que las mismas causas producen los mismos efectos. Así, el mismo conjunto de condiciones sedimentarias en un período geológico dado debería producir en el perfil las mismas respuestas, al igual que ellas generan la misma litología y facies.

La aplicación de este principio permite aseverar que la persistencia de cierto criterio entre un punto de observación (un pozo) y otro es una prueba de que las causas originales fueron las mismas en ambos lugares. Por eso, si se observan rasgos de perfiles similares, se puede concluir que las condiciones sedimentarias fueron las mismas en ambos sitios, o que es probablemente la misma formación (Serra, 1998).

Todos los fenómenos geológicos de importancia considerable, tales como períodos de soterramiento, erosión, transgresión o movimientos tectónicos dejarán su huella en las mediciones de los perfiles, de la misma manera en que lo hacen en rocas y formaciones, sin tener en cuenta las facies y el ambiente. Estos rasgos en los perfiles de pozo indicarán por ello la presencia de estos fenómenos geológicos (Serra, 1998).

Concepto de Similitud

Serra (1998), define este concepto como el más elocuente y más intuitivo. Está esencialmente basado en la forma de las curvas, o sea la frecuencia, amplitud y posición de los eventos del perfil en sucesiones verticales.

Naturalmente, para cada evento, debe ser tenido en cuenta el valor de todos los parámetros del perfil; de otro modo puede haber correlaciones incorrectas. Este concepto es usado, para correlaciones de gran detalle, para estudios muy precisos y con un espaciado mínimo entre puntos de control, por ejemplo en el caso de un yacimiento. Puede ser útil consultar perfiles con una muy buena resolución vertical, como lo es el microlateroperfil (Serra, 1998).

Debe tenerse cuidado en aplicar este concepto a correlaciones sobre distancias considerables, especialmente cuando la similitud de la forma no es perfecta. Si por otro lado, la similitud es perfecta, uno puede concluir que la correlación es válida y respeta la cronoestratigrafía (Serra, 1998).

Concepto de Ritmicidad

Según Serra (1998), la sedimentación ocurre a manera de secuencias, ritmos o ciclos relacionados a fenómenos geológicos de cierta importancia, de manera que tendrán características regionales, indistintamente del tipo de sedimentación. Las secuencias están separadas entre sí por superficies de discontinuidad o superficies limitantes, que implican una interrupción en la sedimentación anterior al regreso a las condiciones de sedimentación similares, a las que generaron la base de la secuencia precedente.

Esto lleva con frecuencia a una evolución general similar, o dicho de otra manera genera “electrosecuencias” comparables entre sí. Este concepto es muy importante, ya que permite identificar fenómenos geológicos mostrando una buena sincronización y aún predecir cierto “retardo” o diferencia temporal, entre una parte de la cuenca y otra. Tales fenómenos incluyen interrupciones en la sedimentación debidos a movimientos tectónicos, períodos transgresivos o ciclos eustáticos, erosión, e hiatos en la sedimentación (Serra, 1998).

Concepto de Variabilidad Lateral

Serra (1998), propone que este concepto está basado en dos tipos de evidencias: (a) La relación lateral de las facies que no es al azar, debido a que de acuerdo con la Ley de Walther, a la escala de la secuencia sedimentaria existe una relación entre secuencias elementales yuxtapuestas y superpuestas. En otras palabras, en el mismo instante en una cuenca dada, transcurrirá por ejemplo una sedimentación de arenas, limos, arcillas y carbón, y (b) El espesor de los depósitos durante el mismo período depende de: el tipo de litología y ambiente sedimentario, al igual que de la capacidad de compactación, de la subsidencia, y de una combinación de los dos fenómenos señalados previamente.

2.2.3 Técnicas de Correlación entre Perfiles

Más allá de identificar las guías o configuraciones típicas (similitudes en las formas de las curvas), la sucesión de las secuencias, interrupciones significativas dentro del ciclo sedimentario o la evolución más probable de las facies, no existen técnicas especiales de correlación entre perfiles. No obstante, para obtener los mejores resultados y la máxima precisión posible, el procedimiento de correlación sigue ciertos pasos, donde los más importantes son descritos a continuación (Serra, 1998):

Creación del Perfil Compuesto para cada Pozo

En algunos casos, uno o dos perfiles pueden ser suficientes para una correlación entre pozos, sin embargo, a fin de maximizar la validez de la correlación, debería ser usado el juego completo de perfiles disponibles. Por ello se recomienda el uso del perfil compuesto como la base de la correlación, el cual deberá contener la mayoría de los perfiles de reconocimiento grabados en el pozo (Serra, 1998).

Existen estudios donde se han realizado pruebas exitosas de correlación mediante el uso de perfiles obtenidos a partir de la aplicación del análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés). Según Serra (1998), esta es una técnica que usa todos los perfiles para mostrar en una única curva, las características principales y dominantes derivadas de todas las mediciones.

Sin embargo, este método se complica debido a disparidades entre los registros, este sólo puede ser usado si siempre se usa el mismo juego de perfiles y si por su parte estos perfiles están bien calibrados (Serra, 1998).

Construcción de Secciones Transversales para Correlaciones

Este método consiste en ubicar los perfiles compuestos de los diferentes pozos uno al lado del otro y usando un espaciamiento regular manteniendo un nivel de referencia guía para alinear las pozos, o bien empleando un espaciado que tenga en cuenta la distancia real entre los pozos y ajustándolos a una escala vertical relativa al nivel del mar (Serra, 1998).

En todo estudio de una síntesis estratigráfica de una cuenca, región o yacimiento, es deseable establecer secciones transversales entrecruzadas, complementadas por secciones circulares, esenciales para cerrar la malla y asegurar la continuidad y cierre de las correlaciones (Serra, 1998). Esto dará indicaciones valiosas acerca de la probable ubicación del intervalo correspondiente en otros pozos. Estas secciones destacan las diferencias en distancia vertical y espesor para las formaciones por encima y por debajo del plano de referencia o “datum” utilizado.

Al realizar lo anterior, se ignoran todos los posibles movimientos estructurales a los cuales la secuencia ha sido expuesta. Después se pueden correlacionar todos los eventos abajo o arriba del plano datum comparando las respuestas en los registros (Alzate “et al.”, 2006).

La Búsqueda de Niveles Guía Sincrónicos

Las correlaciones cronoestratigráficas deben estar basadas en horizontes constantes en el tiempo que son raros, debido a que generalmente corresponden a fenómenos en mayor o menor medida instantáneos, en términos de tiempo geológico, y además deben ser independientes del ambiente. Para que sean útiles, también deben ser de considerable extensión geográfica. Frecuentemente son de difícil detección en cortes de terreno, pero generalmente son de fácil identificación en los perfiles de pozo (Serra, 1998).

2.2.4 La Correlación de Perfiles de Pozo en la Descripción de Yacimientos de Hidrocarburos

En un estudio de yacimientos el objetivo de esta actividad es describir la evolución lateral de las características de los reservorios para una detallada y precisa reconstrucción de la geometría y arquitectura de las diferentes facies del yacimiento.

La interpretación de los registros es un proceso largo y complejo que está relacionada con el tipo de información que se pretende extraer de éstos, con las herramientas disponibles para el manejo de la información, y con la disponibilidad de personal calificado para desarrollar dicha actividad, la cual en forma convencional se realiza de forma artesanal por parte de un experto humano, lo que implica una larga y tediosa tarea. Esta actividad, es una actividad intensiva en el tiempo y aún más en presencia de complejidades y complicaciones geológicas, que conllevan a la reexaminación de las correlaciones previas y a potenciales cambios de los marcadores ya establecidos (Alzate “et al.”, 2006). Esta situación se complica en la medida que aumenta la extensión de un yacimiento y el número de pozos perforados en éste.

Desafortunadamente, no existe una forma para corroborar las correlaciones, así que más que una única correlación, puede haber muchas soluciones factibles que

no violan las normas estratigráficas generales. Frente a esta situación se presenta un problema crucial; las correlaciones son vitales pero extremadamente difíciles de establecer con certeza (Olea, 1986). Por lo tanto, según Alzate et al. (2006), es relevante implementar técnicas capaces de reducir en forma considerable el tiempo empleado por un experto humano para correlacionar registros, y además, ser capaz de emular, en algún grado, el comportamiento intuitivo en la búsqueda de una solución confiable.

2.3 Estadística Multivariada

El Análisis Multivariante es la rama de la estadística que estudia las relaciones conjuntos de variables dependientes y los individuos para los cuales se han medido dichas variables. Sus métodos analizan conjuntamente p variables, medidas sobre un conjunto de n individuos u objetos. Una primera diferenciación entre los distintos métodos se basa en los objetivos que persiguen (Ganzo, 2003).

El análisis multivariante, en esencia, se dedica al estudio de varias variables de modo simultáneo. Es decir, se toma un objeto y no sólo se mide un aspecto suyo, sino que se consideran varios aspectos y se trata de determinar la relación entre estas medidas. Además, no sólo interesan los valores en cada caso, sino también las relaciones simultáneas entre ellas (Marin, 2006).

2.3.1 Variable Estadística

El conjunto de valores que constituyen un carácter estadístico se denomina variable estadística. En términos estrictos, se denomina variable estadística a todo carácter cuantitativo de un individuo, mientras que los caracteres cualitativos se suelen llamar atributos (Ibáñez, s.f.).

Las variables pueden ser clasificadas según la escala de medición o según la influencia que se asigne a unas variables sobre otras.

2.3.1.1 Clasificación de Variables Según su Escala de Medición:

En la figura 2.2 se muestra de forma esquemática la clasificación de las variables según su escala de medición.

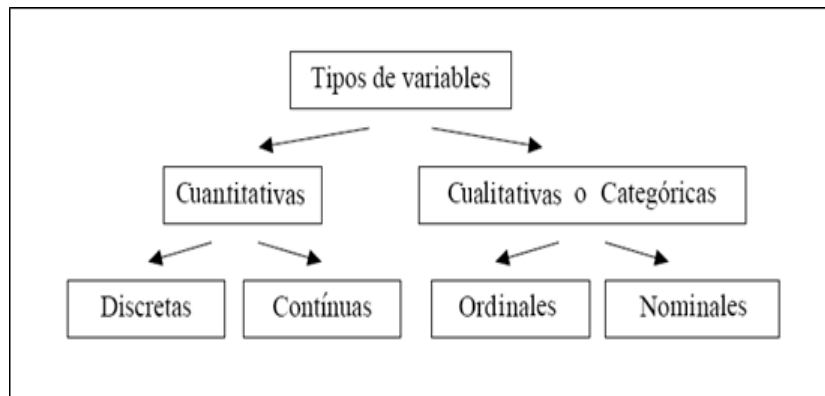


Figura 2.2. Esquema de clasificación de las variables según su escala de medición (modificado de Nieto, 2006).

(a) Variables Cuantitativas: Una variable cuantitativa es la que se expresa mediante un número, por tanto se pueden realizar operaciones aritméticas con ella (Fernández, s.f.). Las variables cuantitativas además pueden ser:

(a) *Variable Discreta:* Una variable discreta es aquella que toma valores aislados, es decir no admite valores intermedios entre dos valores específicos. Por ejemplo: El número de hermanos de 5 amigos: 2, 1, 0, 1, 3 (Fernández, s.f.).

(b) *Variable Continua:* Una variable continua es aquella que puede tomar valores comprendidos entre dos números. Por ejemplo: La altura de los 5 amigos: 1.73, 1.82, 1.77, 1.69, 1.75. En la práctica medimos la altura con dos decimales, pero también se podría dar con tres decimales (Fernández, s.f.).

(b) Variables Cualitativas o Categóricas: Las variables cualitativas se refieren a características o cualidades que no pueden ser medidas con números. (Fernández, s.f.). Dentro de ellas se pueden distinguir:

(a) *Variable Cualitativa Ordinal:* Una variable cualitativa ordinal presenta modalidades no numéricas, en las que existe un orden. Por ejemplo: La nota en un examen: suspenso, aprobado, notable, sobresaliente. Puesto conseguido en una prueba deportiva: 1º, 2º, 3º, Medallas de una prueba deportiva: oro, plata, bronce (Fernández, s.f.).

(b) *Variable Cualitativa Nominal:* Una variable cualitativa nominal presenta modalidades no numéricas que no admiten un criterio de orden. Por ejemplo: El estado civil, con las siguientes modalidades: soltero, casado, separado, divorciado y viudo (Fernández, s.f.).

2.3.1.2 Clasificación de Variables Según la Influencia de unas Variables sobre Otras:

(a) Variables Independientes: Es la causa, el antecedente, la manipulada, es la clasificación predictoria, es independiente al no depender de otra causa. La variable independiente: mide (clasifica sujetos, ej.: Estudio observacional), manipula (interviene, ej.: Estudios experimentales) (Cabrero y Martínez, s.f.).

(b) Variables Dependientes: Es el efecto, la consecuencia, la medida, es predecible y es medible, depende de otra variable. Con la variable dependiente, los resultados son medidos, es la que busca instrumentos para medir, aplicar el instrumento al sujeto y/o población (Cabrero y Martínez, s.f.).

Para efectos de este trabajo, y de acuerdo a la clasificación presentada en los párrafos anteriores, los tipos de datos a utilizar corresponden a variables de tipo cuantitativo continuo, por tratarse de datos de registros de pozo que representan la medición de propiedades físicas de la roca en rangos específicos de variación.

2.3.2 Clasificación de las Técnicas de Análisis Multivariado

En un estudio, el investigador dispone de muchas variables medidas u observadas en una colección de individuos y pretende estudiarlas conjuntamente, para lo cual suele acudir al análisis estadístico de datos multivariado. Entonces se encuentra frente a una diversidad de técnicas y debe seleccionar la más adecuada a sus datos y a su objetivo científico (Pérez, 2004).

2.3.2.1 Métodos de Reducción de la Dimensión:

Al observar muchas variables sobre una muestra es presumible que una parte de la información recogida pueda ser redundante o que sea excesiva, en cuyo caso estos métodos tratan de eliminarla. Estos métodos combinan muchas variables observadas para obtener pocas variables ficticias que las representen. Entre estos métodos se encuentran el análisis de componentes principales, análisis factorial, análisis de correspondencias, escalamiento óptimo, homogeneidades, análisis conjunto, entre otros (Pérez, 2004).

2.3.2.2 Métodos de Clasificación en Grupos:

Los individuos pueden presentar ciertas características comunes en sus respuestas, que permitan intentar su clasificación en grupos de cierta homogeneidad. Los métodos de clasificación buscan analizar las relaciones entre variables para ver si se pueden separar los individuos en agrupaciones a posteriori, entre estos métodos

podemos nombrar el análisis de *cluster*, el análisis discriminante, árboles de decisión, etc. (Pérez, 2004).

2.3.2.3 Métodos de Relación o Predicción:

Existen variables cuya dependencia de un conjunto de otras variables es interesante detectar para analizar su relación o, incluso, aventurar su predicción cuando esas otras variables sean conocidas. Se encuentran en este grupo entre otros, la regresión lineal simple y múltiple, la regresión no lineal, la regresión logística, el análisis de la varianza simple y múltiple, las técnicas de análisis de series temporales, etc. (Pérez, 2004).

De acuerdo a esta clasificación y tomando en cuenta que la elección del método de análisis más adecuado debe basarse en los objetivos del estudio y en el tipo de información de la que se dispone, para el presente estudio se utilizarán el análisis de componentes principales, el análisis de *cluster*, y el análisis de la varianza.

2.3.3 Análisis de Componentes Principales (PCA)

Según Pérez (2004), el análisis en componentes principales (PCA) es una técnica de análisis estadístico multivariante que se clasifica entre los métodos de simplificación o reducción de la dimensión. Se aplica cuando se dispone de un conjunto elevado de variables con datos cuantitativos persiguiendo obtener un menor número de variables, combinación lineal de las primitivas, que se denominan componentes principales o factores, cuya posterior interpretación permitirá un análisis más simple del problema estudiado. Su aplicación es directa sobre cualquier conjunto de variables, a las que considera en bloque, sin que el investigador haya previamente establecido jerarquías entre ellas, ni necesite comprobar la normalidad de su distribución. Se trata por tanto de una técnica para el análisis de la interdependencia de las variables.

El análisis en componentes principales permite describir, de un modo sintético, la estructura y las interrelaciones de las variables originales en el fenómeno que se estudia a partir de las componentes obtenidas que, naturalmente, habrá que interpretar y «nombrar». El mayor número posible de componentes coincide, como se puede ver, con el número total de variables. Quedarse con todas ellas no simplificaría el problema, por lo que el investigador deberá seleccionar entre distintas alternativas aquellas que, siendo pocas e interpretables, expliquen una proporción aceptable de la varianza global o inercia de la nube de puntos que suponga una razonable pérdida de información. Esta reducción de muchas variables a pocas componentes puede simplificar la aplicación sobre estas últimas de otras técnicas multivariantes (regresión, *clusters*, etc., Pérez, 2004)

Fundamento

Con objeto de analizar la p -variables (correlacionadas) de la matriz de datos, se realiza una transformación de las variables originales en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas, mediante una rotación ortogonal, que se llaman componentes o factores principales. Estas quedarán expresadas como combinación lineal de las originales, y se expresan en orden decreciente de importancia en cuanto a explicar la incidencia de cada componente principal en la descripción del problema. El objetivo principal del análisis es averiguar cuantas variables, m , de entre las p , ($m < p$), explican mejor la variabilidad de los datos representados por las variables originales. Si ello es posible, se puede afirmar que la dimensionalidad del problema es menor que p . Por ejemplo si alguna de las variables originales están fuertemente correlacionadas con otras se pueden “agrupar” en una única variable (componente principal) expresada como combinación lineal de aquellas, y de esta manera se reduce la dimensión del problema. Así pues, el ACP transforma un conjunto de variables correlacionadas en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas, donde la importancia de estas últimas vienen determinadas por la parte de varianza asociadas a ellas (Ganzo, 2004).

2.3.4 Análisis de *Cluster*

El término análisis de *cluster* se utiliza para definir una serie de técnicas, fundamentalmente algoritmos, que tienen por objeto la búsqueda de grupos similares de individuos o de variables que se van agrupando en conglomerados. Dada una muestra de individuos, de cada uno de los cuales se dispone de una serie de observaciones, el análisis *cluster* sirve para clasificarlos en grupos lo más homogéneos posible en base a las variables observadas. Los individuos que queden clasificados en el mismo grupo serán tan similares como sea posible (Pérez, 2004).

La palabra *cluster*, que define estas técnicas, se podría traducir por grupo, conglomerado, racimo, apiñarse, etc. Otros nombres asignados al mismo concepto son análisis de conglomerados, análisis tipo lógico, clasificación automática y otros. Todos ellos pueden funcionar como sinónimos (Pérez, 2004).

El análisis de *cluster* es un método estadístico multivariante de clasificación automática de datos. A partir de una tabla de casos-variables, trata de situar los casos (individuos) en grupos homogéneos, conglomerados o *clusters*, no conocidos de antemano pero sugeridos por la propia esencia de los datos, de manera que individuos que puedan ser considerados similares sean asignados a un mismo *cluster*, mientras que individuos diferentes (disimilares) se localicen en *clusters* distintos (Pérez, 2004).

El análisis de *cluster* define grupos tan distintos como sea posible en función de los propios datos. La creación de grupos basados en similaridad de casos exige una definición de este concepto, o de su complementario «distancia» entre individuos. La variedad de formas de medir diferencias multivariantes o distancias entre casos proporciona diversas posibilidades de análisis. El empleo de ellas, y el de las que continuamente siguen apareciendo, así como de los algoritmos de clasificación, o diferentes reglas matemáticas para asignar los individuos a distintos grupos, depende del fenómeno estudiado y del conocimiento previo de posible agrupamiento que de él

se tenga. Puesto que la utilización del análisis *cluster* ya implica un desconocimiento o conocimiento incompleto de la clasificación de los datos, el investigador ha de ser consciente de la necesidad de emplear varios métodos, ninguno de ellos incuestionable, con el fin de contrastar los resultados (Pérez, 2004).

Existen dos grandes tipos de análisis de *clusters*: aquéllos que asignan los casos a grupos diferenciados que el propio análisis configura, sin que unos dependan de otros, se conocen como no jerárquicos, y aquéllos que configuran grupos con estructura arborescente, de forma que *clusters* de niveles más bajos van siendo englobados en otros de niveles superiores, se denominan jerárquicos. Los métodos no jerárquicos pueden, a su vez, producir *clusters* disjuntos (cada caso pertenece a un y sólo un *cluster*), o bien solapados (un caso puede pertenecer a más de un grupo). Estos últimos, de difícil interpretación, son poco utilizados (Pérez, 2004).

Debido al tipo de análisis a realizar en el presente trabajo, se utilizará el análisis de *cluster* jerárquico el cual se explica a continuación:

Clusters Jerárquicos: Dendograma

De acuerdo con lo propuesto por Pérez (2004), es frecuente en la investigación la necesidad de clasificar los datos en grupos con estructura arborescente de dependencia, de acuerdo con diferentes niveles de jerarquía.

Partiendo de tantos grupos iniciales como individuos se estudian, se trata de conseguir agrupaciones sucesivas entre ellos de forma que progresivamente se vayan integrando en *clusters* los cuales, a su vez, se unirán entre sí en un nivel superior formando grupos mayores que más tarde se juntarán hasta llegar al *cluster* final que contiene todos los casos analizados. La representación gráfica de estas etapas de formación de grupos, a modo de árbol invertido, se denomina dendograma (Figura 2.3) (Pérez, 2004).

La figura 2.3, que corresponde a un estudio de los individuos, muestra cómo el 8 y el 9 se agrupan en un primer *cluster* (A). En un nivel inmediatamente superior, se unen los individuos 1 y 2 (*cluster* B); y enseguida los 5,6, y 7 (C). Un paso siguiente engloba el *cluster* B con el individuo 3 (D); y así sucesivamente hasta que

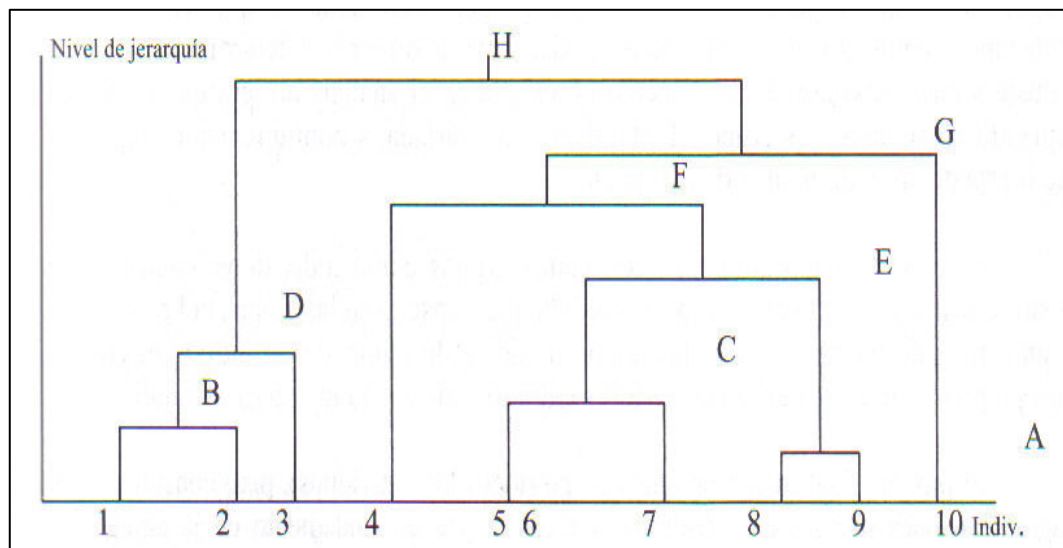


Figura 2.3. Ejemplo de dendrograma (modificado de Pérez, 2004).

todos ellos quedan estructurados al conseguir, en el nivel más alto, el *cluster* total (H) que reúne los 10 casos (Pérez, 2004).

Evidentemente, la decisión de todas estas agrupaciones ha de tomarse en función de la *similitud multivariante* (o de su contrario *distancia*) proporcionada por el conjunto de variables estudiadas, ya que en cada nivel de jerarquía se unen los dos *clusters* más cercanos. Es, pues, importante como paso previo a un análisis de *clusters* jerárquicos, la elección de una adecuada métrica de similitud o disimilitud (Pérez, 2004).

La distancia X^2 , la distancia de Jaccard, la distancia euclídea al cuadrado, la euclídea generalizada, la de bloques o Manhattan, la de Tchebycheff, la de

Mahalanobis, y otras medidas de similaridad como los coeficientes de correlación de Pearson y de correlación por rangos de Kendall entre individuos, el índice de Gower, etc., dan idea de la enorme variedad de formas de enfocar el diseño de un análisis de clasificación de datos, cada una de ellas con sus ventajas e inconvenientes que, en definitiva, serán mejores o peores según las características del fenómeno estudiado y, sobre todo, de la relevancia o interpretabilidad de los grupos obtenidos (Pérez, 2004).

La segunda decisión que el investigador debe tomar es, precisamente, qué algoritmo emplear para la formación de grupos, definiendo a qué va a llamar "distancia entre *clusters*" para luego poder unir, a otro nivel jerárquico, aquellos *clusters* más próximos (Pérez, 2004).

La aglomeración comienza con tantos grupos como individuos; cada uno de éstos constituye un *cluster* inicial. A medida que transcurren las etapas del proceso se van formando nuevos *clusters* por unión de dos individuos, de un individuo con un grupo previo, o de dos grupos anteriores entre los que exista la menor distancia (Pérez, 2004).

El proceso finaliza con un único grupo (todos los individuos), pero constituido por aglomeraciones sucesivas en distintos niveles. Este es el fundamento de la agregación (ascendente); en contraposición con el proceso de disgregación (descendente), que opera de forma inversa: Parte del grupo total de individuos para llegar, tras varias etapas de partición, hasta tantos *clusters* como individuos. Característica importante de los métodos jerárquicos es el no permitir reasignaciones de grupos, es decir, que dos *clusters* (o dos individuos) que han sido unidos en un paso del proceso no pueden ya separarse en etapas sucesivas (Pérez, 2004).

Para la selección de la medida de proximidad es conveniente estar familiarizado con este tipo de medidas, básicamente similitudes y distancias, ya que los conglomerados que se forman lo hacen en base a las proximidades entre variables

o individuos. Puesto que los grupos que se forman en cada paso dependen de la proximidad, distintas medidas de proximidad pueden dar resultados distintos para los mismos datos. Para elegir el criterio de agrupación conviene conocer, como mínimo los principales métodos de análisis de *cluster* (Pérez, 2004).

2.3.4.1 Distancias y Similitudes:

La proximidad expresa la semejanza que existe entre individuos o variables. Es decir, es el grado de asociación que existe entre ellos. Las proximidades pueden medir la distancia o la similitud (similaridad) entre individuos o variables. El valor que se obtiene en una medida de distancia es tanto mayor cuanto más alejados están los individuos o puntos entre los que se mide. En las similitudes, al contrario de las distancias, el valor que se obtiene es tanto mayor cuanto más próximos están los elementos considerados. La correlación de Pearson y los coeficientes de Spearman y de Kendall son índices de similitud (Pérez, 2004).

Algunas medidas de distancias son: *Average Distance* (Distancia Promedio), *Bray Curtis* (Distancia de Bray Curtis), *Canberra* (Distancia de Canberra), *Chi-Squared* (Distancia Chi-cuadrado), *Chord* (Distancia de Chord), *Cosine Theta* (Distancia del Coseno de *Theta*), *Euclidean* (Distancia Euclidiana), *Manhattan* (Distancia de Manhattan), *Mean Character Difference* (Distancia de Diferencia de Carácter Principal), *Squared Chord* (Distancia Cuadrada de Chord), *Standardized Euclidean* (Distancia Euclidiana Estandarizada), entre otras.

Algunos ejemplos de similitudes son: *Gower General Similarity Coefficient* (Similitud del Coeficiente de Similaridad General de Gower), *Modified Morisita's Similarity* (Similitud de la Similaridad Modificada de Morisita), *Pearson Coefficient* (Similitud del Coeficiente de Pearson), *Percent Similarity* (Similitud del Porcentaje de Similaridad), *Spearman Coefficient* (Similitud del Coeficiente de Spearman), entre otros.

Definición de algunas medidas de Distancia y Similitud:

(a) Coeficiente de correlación de Pearson

El Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson es un índice estadístico que permite medir la fuerza de la relación lineal entre dos variables. Su resultado es un valor que fluctúa entre -1 (correlación perfecta de sentido negativo) y $+1$ (correlación perfecta de sentido positivo). Cuanto más cercanos al 0 sean los valores, indican una mayor debilidad de la relación o incluso ausencia de correlación entre las dos variables (Salvia, s.f.).

Si el coeficiente de correlación de Pearson (r) es cercano a 0, las dos variables no tienen mucho que ver entre sí (no tienen casi ninguna covariación *lineal*). Si su valor es cercano a ± 1 , esto significa que la relación entre las dos variables es lineal y está bien representada por una línea (Salvia, s.f.).

(b) Coeficiente de correlación de Spearman

La correlación de Spearman, o por rangos, se basa en reemplazar los valores originales, de ambas variables, por números enteros positivos, comenzando del 1 en adelante, que correspondan a su ordenamiento de menor a mayor magnitud (RANGOS). Para ello, los valores reales de cada una de las variables son ordenados de menor a mayor, por separado y reemplazados por los rangos (Salinas, 2007).

Si se evalúa la correlación lineal simple, también llamada correlación de Pearson entre rangos, este coeficiente de correlación lineal entre rangos se conoce como correlación de Spearman (Salinas, 2007).

(c) Coeficiente de Similitud General de Gower

El Coeficiente de Similitud General de Gower es una de las medidas más populares de la proximidad de los tipos de datos mixtos (Pérez, 2004).

Gower en 1971 describe un coeficiente de similaridad que es aplicable a tres tipos de caracteres: bifásicos, multiestados y cuantitativos. Es particularmente útil debido a su posibilidad de ser procesado informáticamente, ya que utiliza cualquier tipo de dato (Ruiz de Galarreta, 2000).

(d) Similaridad Modificada de Morisita

El Índice de Morisita (modificado) sobrestima la similitud sobre aproximadamente la misma porción del rango. Es un índice de solapamiento o similaridad.

Según Barrio y Valqui (2004), el índice de Morisita utiliza la estructura poblacional (frecuencias relativas) para determinar la similitud entre localidades. Se define como la relación entre la probabilidad que dos individuos extraídos de cada una de las poblaciones, sean las mismas, entre la probabilidad que dos individuos sacados dentro de cada una de las poblaciones sean de la misma especie.

(e) Distancia Euclidiana

La distancia Euclidiana simplemente es la distancia de una línea recta (como se define la línea recta en la geometría Euclidiana) entre dos puntos en

un diagrama de constelación (Aldas y Uriel, 2006). En la figura 2.4 se muestra un ejemplo de la distancia euclidiana:

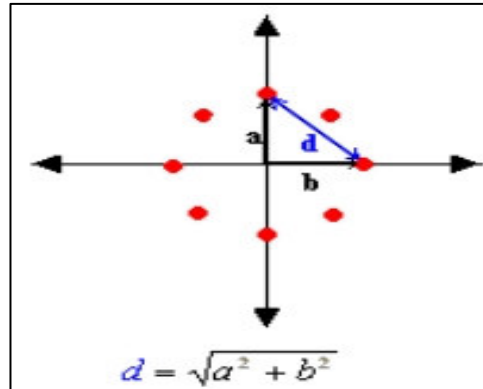


Figura 2.4. Ejemplo de la distancia euclidiana (modificado de Aldas y Uriel, 2006).

Otra forma de expresarlo es en términos vectoriales, y se observa en la figura 2.5:

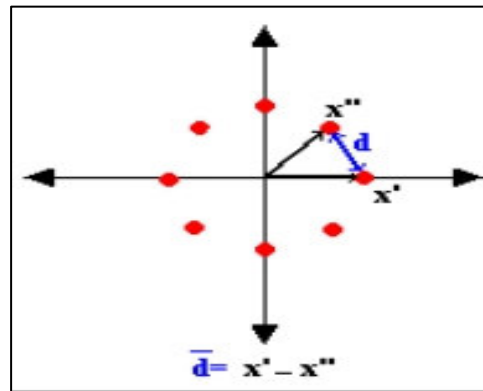


Figura 2.5. Ejemplo 2 de la distancia euclidiana (modificado de Aldas y Uriel, 2006).

Se tendrá entonces que la máxima distancia Euclidiana en un esquema esta dado por la máxima distancia entre dos puntos. La distancia euclídea no tiene en cuenta la dispersión de las variables y las relaciones existentes entre ellas (Aldas y Uriel, 2006).

2.3.4.2 Algunos Métodos de Agrupamiento

(a) Método UPGMA (Unweighted Pair Group Method Using Arithmetic Average)

El UPGMA es el método de reconstrucción filogenética más sencillo de todos, fue inventado inicialmente para construir fenogramas taxonómicos, es decir, árboles que reflejaran las similitudes fenotípicas entre los OTU's (unidades taxonómicas operacionales) (Becerra, 2004).

Sin embargo, puede ser utilizado para construir árboles filogenéticos si las tasas de evolución entre las secuencias son aproximadamente constantes entre linajes, de tal forma que existe una relación aproximada entre la distancia evolutiva y el tiempo de divergencia (Becerra, 2004).

(b) Método WPGMA (Weighted Pair Group Method Using Arithmetic Average)

Este es el método más sencillo de reconstrucción de árboles, originalmente fue diseñado para la construcción de fenogramas (diagramas que reflejan las similitudes fenotípicas entre los OTU's), pero también se puede utilizar para la construcción de árboles filogenéticos si la tasa de evolución entre los OTU's es aproximadamente constante (Pava, 2004).

(c) Método del Centroide (centro de gravedad)

Según Larrañaga, Inza y Moujahid (s.f.), el centroide de un *cluster* se define como el punto equidistante de los objetos pertenecientes a dicho cluster. Pérez (2004), considera como distancia entre dos grupos, la existente entre sus centros de gravedad, definidos por las medias aritméticas de las variables de los individuos que componen los *clusters*. Es el más robusto de

los métodos jerárquicos ante la presencia de casos atípicos. Las clases pequeñas son fácilmente absorbidas y pierden su identidad.

(d) *Método de la Mediana*

Considera como distancia entre dos grupos la existente entre las medianas de las variables de los individuos que componen los *clusters*. De este modo, los dos *clusters* que se combinan se ponderan de forma equivalente al método centroide, pero independientemente del número de individuos que haya en cada grupo (Pérez, 2004). Es una variante del método del centroide (Glz. de Garibay, 2006).

(e) *Método de la Mínima Varianza*

También llamado Método de Ward, y considera como distancia entre dos grupos el menor incremento de varianza residual global, o sea, si en un nivel dado existe un número de *clusters* de los que se deben elegir dos para una nueva fusión, se prueban todas las parejas posibles y se calcula la varianza residual global o intragrupos con cada pareja unida y todos los demás *clusters*. La pareja de grupos que produzca el mínimo incremento en esta varianza residual será la elegida para su unión en un nuevo nivel. En el último nivel, con todos los individuos agrupados en un sólo *cluster*, la varianza residual es máxima y coincide con la varianza total al ser, lógicamente, nula la varianza factorial o intergrupos (ya no hay grupos). Tiende a formar *clusters* esféricos o compactos, y del mismo tamaño. Requiere una distribución normal multivariante en las variables del estudio. Utiliza más información sobre el contenido de los grupos que otros métodos. Es, junto con el enlace promedio, el que ha demostrado mayor eficacia en estudios de simulación (Pérez, 2004).

Siendo más precisos, en el método de Ward se calcula la media de todas las variables de cada *cluster*, luego se calcula la distancia euclídea al cuadrado entre cada individuo y la media de su grupo y después se suman las distancias de todos los casos. En cada paso, los *clusters* que se forman son aquéllos que resultan con el menor incremento en la suma total de las distancias al cuadrado *intracluster*. La métrica normalmente considerada en los métodos hasta aquí descritos es la euclídea o la euclídea al cuadrado. Esta última se suele usar por omisión en programas estadísticos (Pérez, 2004).

(f) ***Método del vecino Más Lejano***

Mide la proximidad entre dos grupos calculando la distancia entre sus objetos más lejanos o la similitud entre sus objetos menos semejantes (Chávez y López, 2005).

Considera como distancia entre dos grupos la existente entre “vecinos más lejanos” (*farthest neighbour*), es decir, entre los individuos más separados de ambos grupos (máxima distancia que es posible encontrar entre un caso de un *cluster* y un caso de otro). Presenta una excesiva tendencia a producir grupos de igual diámetro, y se ve muy distorsionado ante valores atípicos moderados (Pérez, 2004).

El método del vecino más lejano es un método de distancia interesada entre los *clusters* en el análisis de *cluster* jerárquico. La función de la unión que especifica la distancia entre dos *clusters* se computa como la máxima distancia objeto-a-objeto $D(x_i, y_i)$ donde objetos x_i pertenecen al primer *cluster*, y objetos y_i pertenecen al segundo *cluster* (Pérez, 2004).

En otros términos, se define como la distancia entre los dos objetos más lejanos en los dos *clusters*. Según Ramos (2007) es la distancia entre dos *clusters* es la máxima de las distancias entre todas las parejas posibles de miembros de un *cluster* con respecto a miembros del otro.

(g) *Método del Vecino Más Cercano*

Mide la proximidad entre dos grupos calculando la distancia entre sus objetos más próximos o la similitud entre sus objetos más semejantes. Considera como distancia entre dos grupos la que responde al concepto de “Vecinos más cercanos” (*nearest neighbour*), es decir, la separación que existe entre los individuos más próximos de uno y otro grupo. Aunque presenta buenas propiedades teóricas, su eficacia no ha sido la esperada en estudios de validación comparativa de métodos mediante ficheros simulados (Monte Carlo), por su tendencia al “encadenamiento” (une *clusters* realmente diferentes, si están próximos), y porque sólo considera la información de individuos extremos (los valores atípicos, *outliers*, pueden distorsionar la agrupación). Si bien no es adecuado para la obtención de grupos compactos, resulta de utilidad para *clusters* irregulares o elongados. El método consiste en ir agrupando los individuos que tienen menor distancia o mayor similitud, considerando como distancia entre dos *clusters* la distancia entre sus dos puntos más próximos (Pérez, 2004).

2.3.5 Análisis de la Varianza (ANOVA)

El análisis de la varianza (ANOVA, según sus siglas en inglés), es una técnica estadística utilizada para analizar la relación entre una variable dependiente (métrica) y varias variables independientes (no métricas). El objetivo esencial de los modelos del análisis de la varianza es determinante si diversas muestras proceden de

poblaciones con igual media. Los valores métricos de las variables independientes determinarán una serie de grupos en la variable dependiente. De modo, que el modelo ANOVA mide la significación estadística de las diferencias entre las medias de los grupos determinados en la variable dependiente por los valores de las variables independientes (Pérez, 2004).

En otras palabras, es la respuesta a la necesidad de utilizar una técnica de comparación de más de dos grupos. El análisis de la varianza es un procedimiento estadístico, que permite dividir la variabilidad observada en componentes independientes, que pueden atribuirse a diferentes causas de interés. (Molinero, 2003).

Este estudio considera el análisis de la varianza apropiado para el tratamiento del problema planteado, tomando en cuenta que uno o varios registros de pozo pueden ser divididos en zonas según los principios de este método, donde la variable dependiente es la profundidad y la variable independiente es la propiedad medida por el registro.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La metodología usada en este trabajo, consta de una serie de pasos y procedimientos, los cuales son expresados de forma esquemática en la figura 3.1.

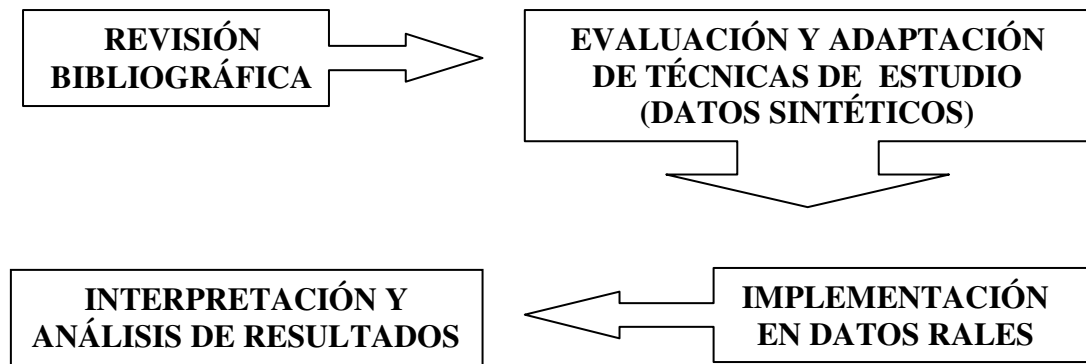


Figura 3.1. Esquema general de la metodología de trabajo aplicada.

3.1. Revisión Bibliográfica

Se procedió a consultar tesis, informes, artículos, y trabajos previos en relación al tema a desarrollar, obteniendo así la información necesaria que se utilizó y/o mejoró durante la ejecución del trabajo. Esto permitió establecer los parámetros teóricos a ser utilizados para el desarrollo del tema.

3.2. Evaluación y Adaptación de Técnicas de Estudio (Datos Sintéticos)

En esta sección se realizó el estudio de metodologías estadísticas multivariantes y la evaluación de su aplicabilidad para el desarrollo del tema, a través del procesamiento y análisis de datos sintéticos generados. También se llevó a cabo el

uso y/o implementación de rutinas de programación para procesar la información durante el análisis estadístico de los registros de pozos.

La estadística multivariante de datos presenta diferentes tipos de técnicas con diferentes metodologías. Después del estudio de varias de las técnicas existentes, disponibles en algunos paquetes estadísticos (*SPSS*, *XSLAT*, *MVSP*), y del estudio de diferentes técnicas de zonación de registros, se seleccionaron algunas de ellas en función de los parámetros establecidos, siendo éstas las necesarias para lograr los objetivos planteados; estas técnicas son: el Análisis de *Cluster*, el Análisis de la Varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés), y el Método de Análisis Geométrico de Registros de Pozo. A su vez, dentro del análisis de la varianza y el método de análisis geométrico, se utilizó la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés).

Como primer paso para la evaluación de las diferentes técnicas estadísticas establecidas para el reconocimiento de secuencias estratigráficas en registros de pozos, se procedió a crear una serie de registros sintéticos que representaran las respuestas básicas comunes de una columna estratigráfica, creando datos de GR simulados para cinco pozos, tomando en cuenta las formas geométricas de referencia de Bulling and Breyer (1989) (figura 3.2), para la interpretación geológica de perfiles. En total fueron creadas dos curvas sintéticas para cada pozo: una curva de Rayos Gamma (GR) y una curva de Rayos Gamma (GRinv) que representa la imagen especular de la curva GR sintética, se simulaban variaciones laterales de unidades geológicas, como por ejemplo: cambios de espesor, diferentes niveles estructurales, aparición y desaparición lateral de cuerpos de roca, entre otras. Estas curvas fueron cargadas en la aplicación PETREL 2007 (figura 3.3).

Luego se procedió a realizar el reconocimiento de contactos de secuencias o unidades geológicas en un pozo guía, examinando los principales cambios geométricos en las respuestas de los registros, para una posterior correlación entre

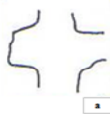
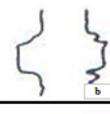
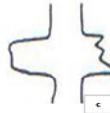
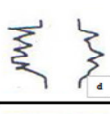
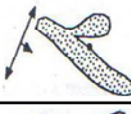
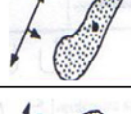
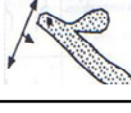
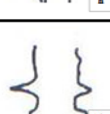
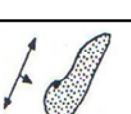
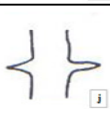
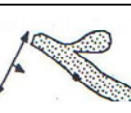
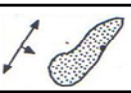
Nombre	Tendencia del Registro	Litología	Geometría del Cuerpo de Arena	Facies Asociadas	Ejemplo	Interpretación
BLOQUE		* Arena, 40-60' de espesor * Contacto Abrupto con lutitas suprayacentes e infra yacentes		* Electrofacies de picos agudos (l) a lo largo del borde hacia la cuenca * Electrofacies de picos simples (i) a lo largo del borde hacia el continente	Campo Atkinson	* Cordon Litoral * Restinga o Isla de Barrera
		* Arena, 40-60' de espesor * Contacto Abrupto con lutitas suprayacentes e infra yacentes		* Acuífamientos en lutitas a lo largo del rumbo deposicional	Campo Hysaw	* Ejes de Barrera de Arena Progradante
		* Arena, 40-60' de espesor * Contacto Abrupto con lutitas suprayacentes e infra yacentes		* Rodeado por Electrofacies en forma de embudo (h)	Área del Riachuelo Hondo	* Barreras de Arena de Frente de Delta
BLOQUE ASERRADO		* Interstratificación de arena y lutita * Contacto Abrupto con lutitas suprayacentes e infra yacentes		* En el margen de espesores isópacos definidos por electrofacies tipo bloque (b, c)	Campo Hysaw	* Margenes de Barreras de Arena
FORMA DE CAMPANA		* Secuencia granodreciente > 35' de espesor * Contacto abrupto con lutitas infrayacentes		* Espesores isópacos cortos definidos por electrofacies tipo bloque (a)	Campo Atkinson	* Relleno de Canal de Marea
FORMA DE EMBUDO		* Secuencia granocreciente, 1-10' de espesor * Contacto gradacional con lutitas infrayacentes		* Lobulos delgados que se extienden desde el espesor isópaco principal * Pases en electrofacies de picos simples y picos agudos	Campo Hysaw	* Abanico de Rotura
		* Secuencia granocreciente, 15-40' de espesor * Contacto gradacional con lutitas infrayacentes		* Electrofacies de bloque lateral (b) y bloque aserrado (d) * Quizás asociados con electrofacies de picos simples (j)	Campo Flax	* Barreras de Arena
		* Secuencia granocreciente, 5-40' de espesor * Contacto gradacional con lutitas infrayacentes		* Rodeado de espesores isópacos definidos por electrofacies tipo bloque (c) y bloque aserrado (d) * Electrofacies de picos simples (k) en grado más hacia el mar	Área del Riachuelo Hondo	* Frente de Delta
PICOS SIMPLES		* Arena delgada entre lutitas * Contacto Abrupto con lutitas suprayacentes e infra yacentes		* Electrofacies tipo bloque (a) hacia el	Campo Atkinson	* Abanico de Rotura
		* Arena delgada entre lutitas * Contacto Abrupto con lutitas suprayacentes e infra yacentes		* Electrofacies de bloque lateral (a)	Campo Hysaw	* Acuífamiento de Barreras de Arena
		* Arena delgada entre lutitas * Contacto Abrupto con lutitas suprayacentes e infra yacentes		* Margen hacia el mar de electrofacies de forma de embudo (h)	Área del Riachuelo Hondo	* Borde Distal de Frente de Delta
PICOS AGUDOS		* Arena delgada * Grano creciente sutil desde lutitas infrayacentes		* Electrofacies tipo bloque (a) hacia la cuenca	Campo Atkinson	* Barrera con Borde Hacia el Mar

Figura 3.2. Formas geométricas de deposición (modificada de Bulling and Breyer, 1989).

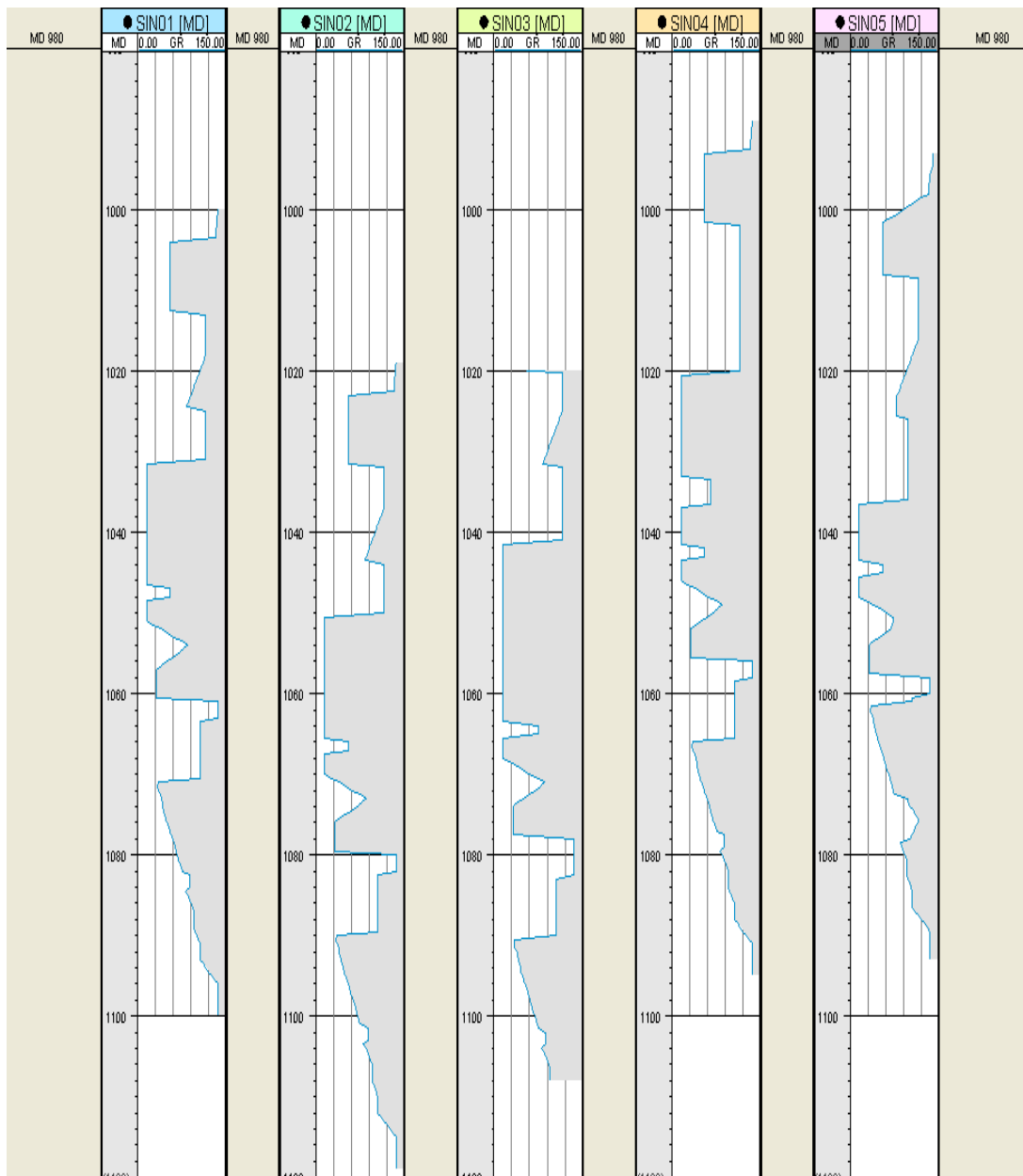


Figura 3.3. Registros sintéticos.

pozos de éstos contactos, aplicando las técnicas convencionales de correlación litoestratigráfica, generando así una sección estratigráfica (figura 3.4). En este paso se tiene también como resultado la tabla de contactos mostrada en la tabla 3.1. Basado

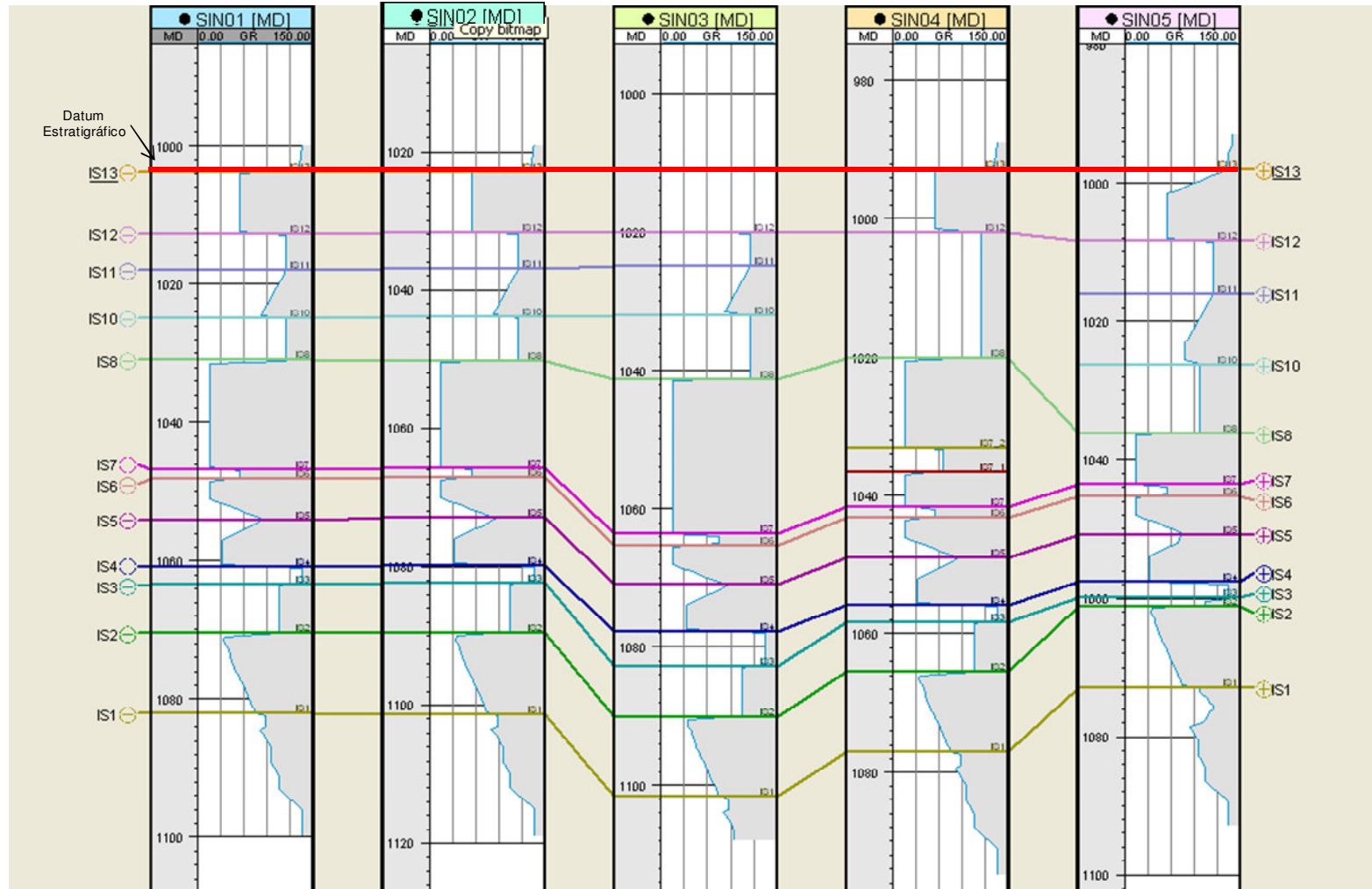


Figura 3.4. Correlación litoestratigráfica de los registros sintéticos, realizada aplicando técnicas convencionales de correlación estratigráfica de registros.

Tabla 3.1. Profundidades de los contactos geológicos interpretados en los registros sintéticos mostrados en la sección de estudio.

TABLA DE CONTACTOS INTERPRETE SINTÉTICOS		
Pozo	Superficie	Profundidad (Pies)
SIN01	IS13	1003.76
SIN01	IS12	1012.77
SIN01	IS11	1018.03
SIN01	IS10	1024.90
SIN01	IS8	1030.97
SIN01	IS7	1046.78
SIN01	IS6	1048.22
SIN01	IS5	1054.06
SIN01	IS4	1060.84
SIN01	IS3	1063.39
SIN01	IS2	1070.57
SIN01	IS1	1082.12
SIN02	IS13	1022.88
SIN02	IS12	1031.73
SIN02	IS11	1037.00
SIN02	IS10	1043.95
SIN02	IS8	1050.18
SIN02	IS7	1065.82
SIN02	IS6	1067.10
SIN02	IS5	1072.85
SIN02	IS4	1079.87
SIN02	IS3	1082.27
SIN02	IS2	1089.61
SIN02	IS1	1101.27
SIN03	IS12	1020.10
SIN03	IS11	1025.04
SIN03	IS10	1032.06
SIN03	IS8	1041.32
SIN03	IS7	1063.67
SIN03	IS6	1065.26
SIN03	IS5	1070.85
SIN03	IS4	1077.72
SIN03	IS3	1082.83
SIN03	IS2	1090.17
SIN03	IS1	1101.67
SIN04	IS13	992.87
SIN04	IS12	1002.04
SIN04	IS8	1020.24
SIN04	IS7 2	1033.27
SIN04	IS7 1	1036.62
SIN04	IS7	1041.63
SIN04	IS6	1043.22
SIN04	IS5	1048.97
SIN04	IS4	1055.84
SIN04	IS3	1058.39
SIN04	IS2	1065.58
SIN04	IS1	1077.07
SIN05	IS13	998.03
SIN05	IS12	1008.36
SIN05	IS11	1016.02
SIN05	IS10	1026.24
SIN05	IS8	1036.30
SIN05	IS7	1043.64
SIN05	IS6	1045.24
SIN05	IS5	1050.83
SIN05	IS4	1057.54
SIN05	IS3	1059.94
SIN05	IS2	1061.21
SIN05	IS1	1073.03

en la correlación litoestratigráfica por técnicas convencionales, se determinó que en los registros sintéticos aún cuando se pueden seguir entre 12 y 14 marcadores a través de la sección, a criterio de la autora, es posible identificar siete unidades mayores limitadas por igual número de marcadores (IS13, IS12, IS8, IS7, IS4, IS2, e IS1) que representarían las posibles secuencias del registro tipo.

A continuación se describe la evaluación de las técnicas seleccionadas para el estudio, a saber: Análisis de *Cluster* (Dendogramas), Análisis de la Varianza, y Método de Análisis Geométrico, aplicadas sobre los registros sintéticos generados.

3.2.1. Análisis de *Cluster*

El análisis de *cluster* se llevó a cabo procesando los datos a través del paquete estadístico multivariante *MVSP* (*Multivariate Statistical Package*), ya que es el único, según el conocimiento de la autora, que contiene la función de realizar el análisis de las muestras manteniendo el orden de profundidad de las mismas, de forma semejante como se haría en el análisis estratigráfico convencional de registros de pozo. Como resultado de éste análisis se obtiene un dendograma, que es analizado para determinar los contactos más importantes, a fin de reconocer las unidades mayores en que se divide el registro.

El programa *MVSP* en la sección de Análisis de *cluster*, contiene una serie de métodos de agrupamiento (*clustering*), y una lista de medidas de distancia y de similitud para cada uno de los métodos de agrupamiento. Para escoger el método, y la medida de similitud o distancia a utilizar se siguió la metodología que se describe a continuación:

- (a) Se descartaron las medidas de distancia, ya que este método expresaba la distancia entre grupos de características semejantes y no cuanto se parecen o diferencian entre sí muestras consecutivas estudiadas, que es el análisis

requerido en este estudio. Además de esto, a los dendogramas resultantes con estas medidas de distancia no era posible darle una interpretación coherente por los constantes solapamientos o devoluciones en sus ramificaciones (figura 3.5).

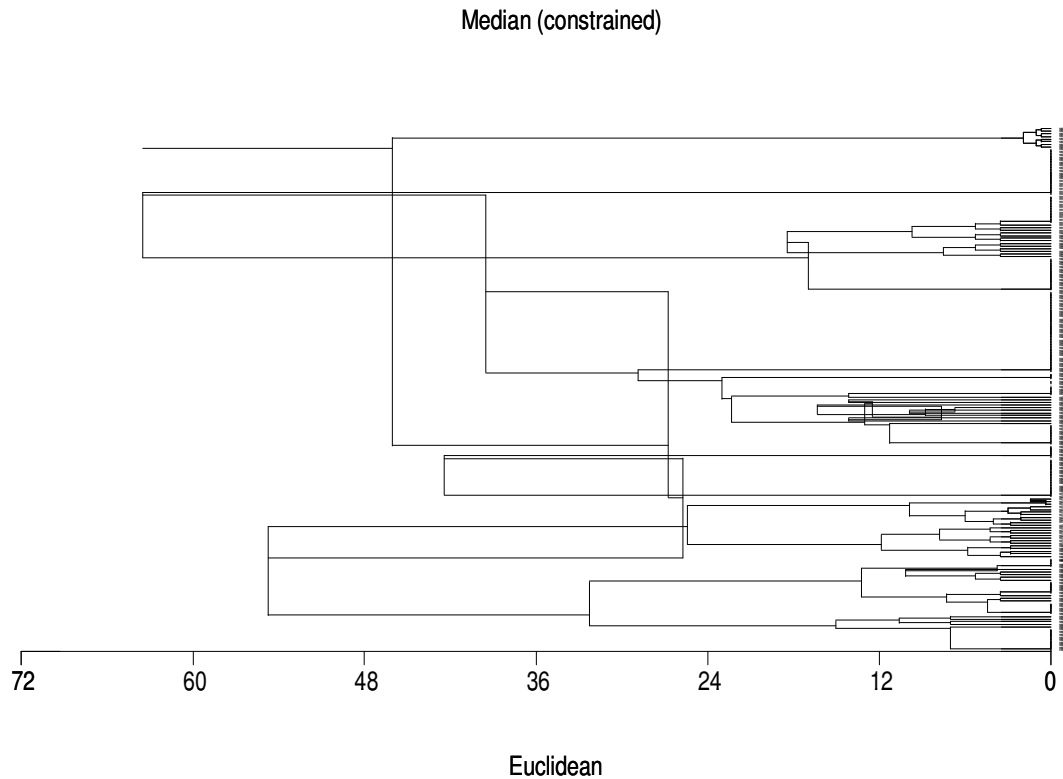


Figura 3.5. Dendrograma con medida de distancia.

- (b) Las medidas de similitudes binarias también fueron descartadas, ya que el principio de estas medidas es comparar únicamente si los valores de estudio son iguales o no entre sí, lo cual no se adapta al problema planteado en este trabajo.
- (c) De las medidas de similitud que ofrece el programa, fue descartada la medida de porcentaje de similitud (*similarity percent*), ya que esta no se adapta al tipo de datos utilizados. De esta forma se utilizaron las siguientes medidas de similitud:

- *Gower General Similarity Coefficient*
- *Modified Morisita's Similarity*
- *Pearson Coefficient*
- *Spearman Coefficient*

(d) En cuanto a los métodos de agrupamiento (*clustering*) que presenta el programa, el primero en ser descartado fue el de mínima varianza, ya que éste únicamente trabaja con la medida de distancia “*Squared Euclidian*”, y como se señaló anteriormente las medidas de distancia fueron descartadas.

De los métodos restantes, se realizaron estudios en la literatura, y se descartaron los métodos UPGMA de sus siglas en inglés (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean*), WPGMA (*Weighted Pair Group Method using Arithmetic average*), y Vecino más cercano (*Nearest Neighbour*) por ser de los menos recomendados para desarrollar los objetivos planteados de este tema.

(e) Del proceso de selección, resultaron factibles de aplicar para el análisis de zonación requerido tres métodos de agrupamiento (*clustering*) junto con las cuatro medidas de similitud, lo que dió como resultado doce dendogramas por pozo.

(f) Se procedió a estudiar cada dendograma, desglosando en orden jerárquico los ocho *clusters* con menor grado de similitud para así obtener siete contactos que limitaran un número de zonas similar al determinado por técnicas de correlación estratigráfica convencional. Con esto se obtuvo una vista a nivel macro, por pozo, sobre qué método con cuál medida de similitud, se asemejaba más a la interpretación del geólogo, mediante un análisis estadístico donde se tomó en cuenta el número de veces que coincidía la profundidad del contacto identificado por la intérprete con la profundidad del

contacto producto del análisis de *cluster* en cada pozo, de esta manera se pudo observar que el método que se aproximaba más a los contactos establecidos por el intérprete, era el método de la mediana con la medida de similitud de Gower. Como ejemplo en la figura 3.6 se muestra el resultado de este análisis estadístico para los cinco registros sintéticos, donde se observa que el método de la mediana con la medida de similitud de Gower presenta el mayor número de repeticiones de los contactos.

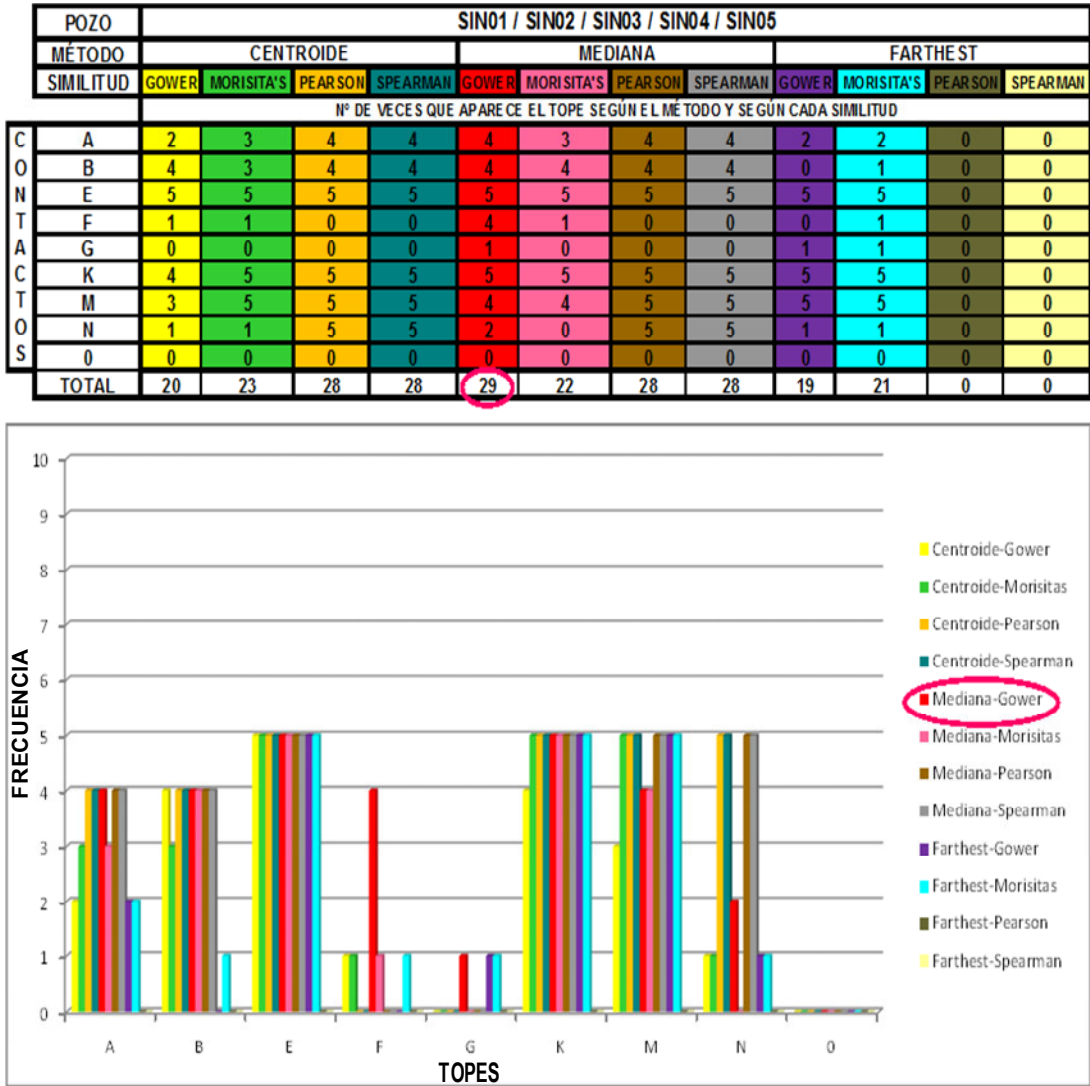


Figura 3.6. Ejemplo de análisis estadístico para la determinación del método y la medida de similitud del proceso de agrupamiento (*clustering*).

De la aplicación de esta técnica de análisis de *clusters* en los datos sintéticos, teniendo como finalidad evaluar si es posible identificar las secuencias mayores que se determinaron por las técnicas convencionales, se obtuvieron los contactos mostrados en la figura 3.7, donde las profundidades de estos contactos en cada pozo son presentadas en la tabla 3.2.

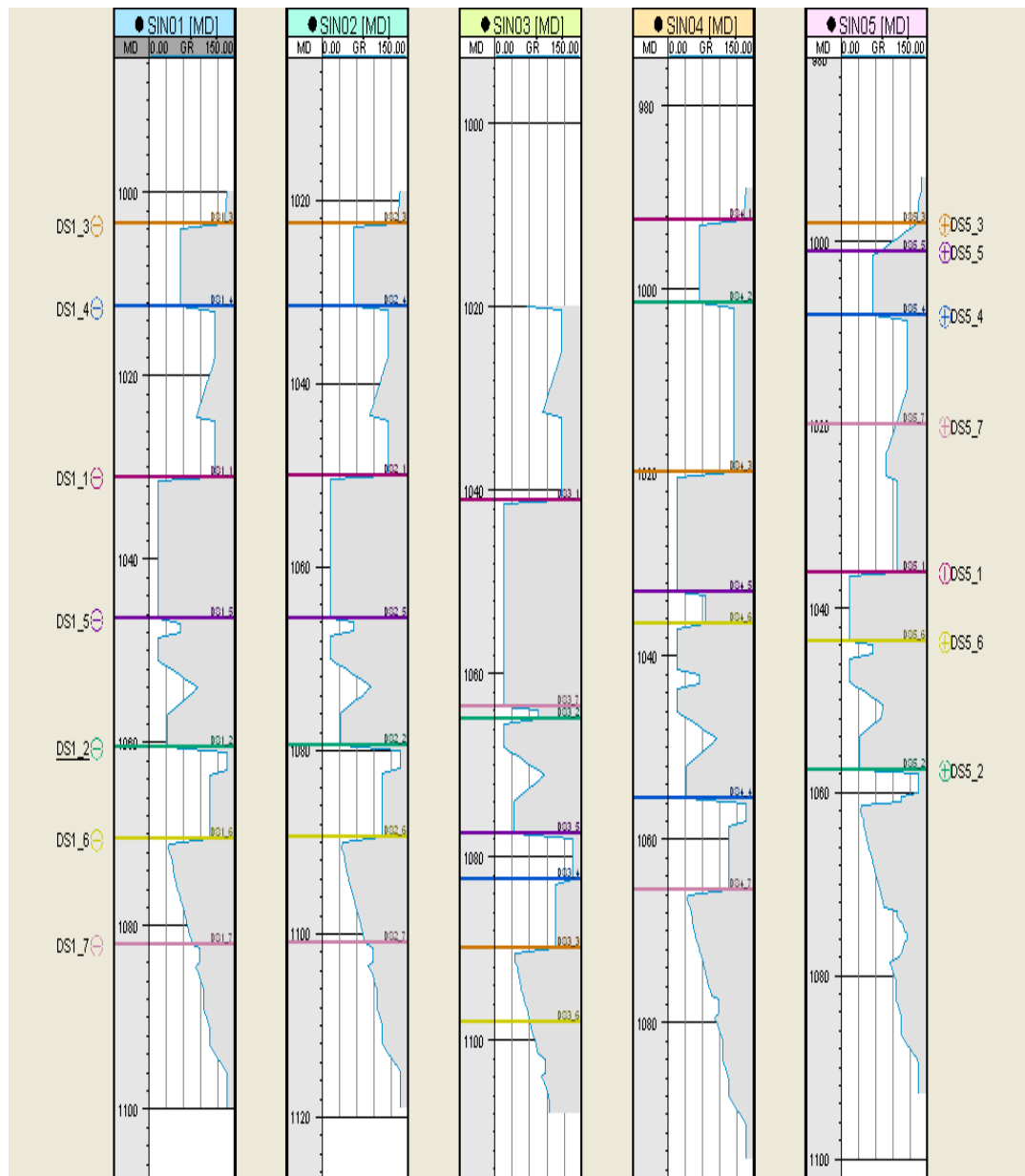


Figura 3.7. Contactos obtenidos por el análisis de *cluster* (dendogramas).

Tabla 3.2. Tabla de profundidad de contactos obtenidos a partir del análisis de *cluster* (dendogramas).

TABLA DE CONTACTOS ANÁLISIS DE <i>CLUSTER</i> SINTÉTICOS		
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
SIN01	DS1 3	1003.50
SIN01	DS1 4	1012.50
SIN01	DS1 1	1031.00
SIN01	DS1 5	1046.50
SIN01	DS1 2	1060.50
SIN01	DS1 6	1070.50
SIN01	DS1 7	1082.00
SIN02	DS2 3	1022.50
SIN02	DS2 4	1031.50
SIN02	DS2 1	1050.00
SIN02	DS2 5	1065.50
SIN02	DS2 2	1079.50
SIN02	DS2 6	1089.50
SIN02	DS2 7	1101.00
SIN03	DS3 1	1041.00
SIN03	DS3 7	1063.50
SIN03	DS3 2	1065.00
SIN03	DS3 5	1077.50
SIN03	DS3 4	1082.50
SIN03	DS3 3	1090.00
SIN03	DS3 6	1098.00
SIN04	DS4 1	992.50
SIN04	DS4 2	1001.50
SIN04	DS4 3	1020.00
SIN04	DS4 5	1033.00
SIN04	DS4 6	1036.50
SIN04	DS4 4	1055.50
SIN04	DS4 7	1065.50
SIN05	DS5 3	998.00
SIN05	DS5 5	1001.00
SIN05	DS5 4	1008.00
SIN05	DS5 7	1020.00
SIN05	DS5 1	1036.00
SIN05	DS5 6	1043.50
SIN05	DS5 2	1057.50

3.2.2. Análisis de la Varianza

Para la zonación de registros mediante el análisis de la varianza se implementó la técnica de ANOVA, donde se realizan cálculos de varianza para dividir los datos en zonas cuya varianza interna sea la menor y la varianza entre ellas sea la mayor. Este análisis se llevó a cabo mediante la corrida de una subrutina de programación para la zonación de registros, elaborada e implementada en PDVSA Intevep, llamada INLASPro.

Con la aplicación del análisis de la varianza en los datos sintéticos, para poder evaluar la posibilidad de identificar las secuencias mayores determinadas por las técnicas convencionales, se obtuvieron como resultado la figura 3.8 que representa los contactos detectados por la técnica, y la tabla 3.3 donde se presentan las profundidades de estos contactos en cada pozo.

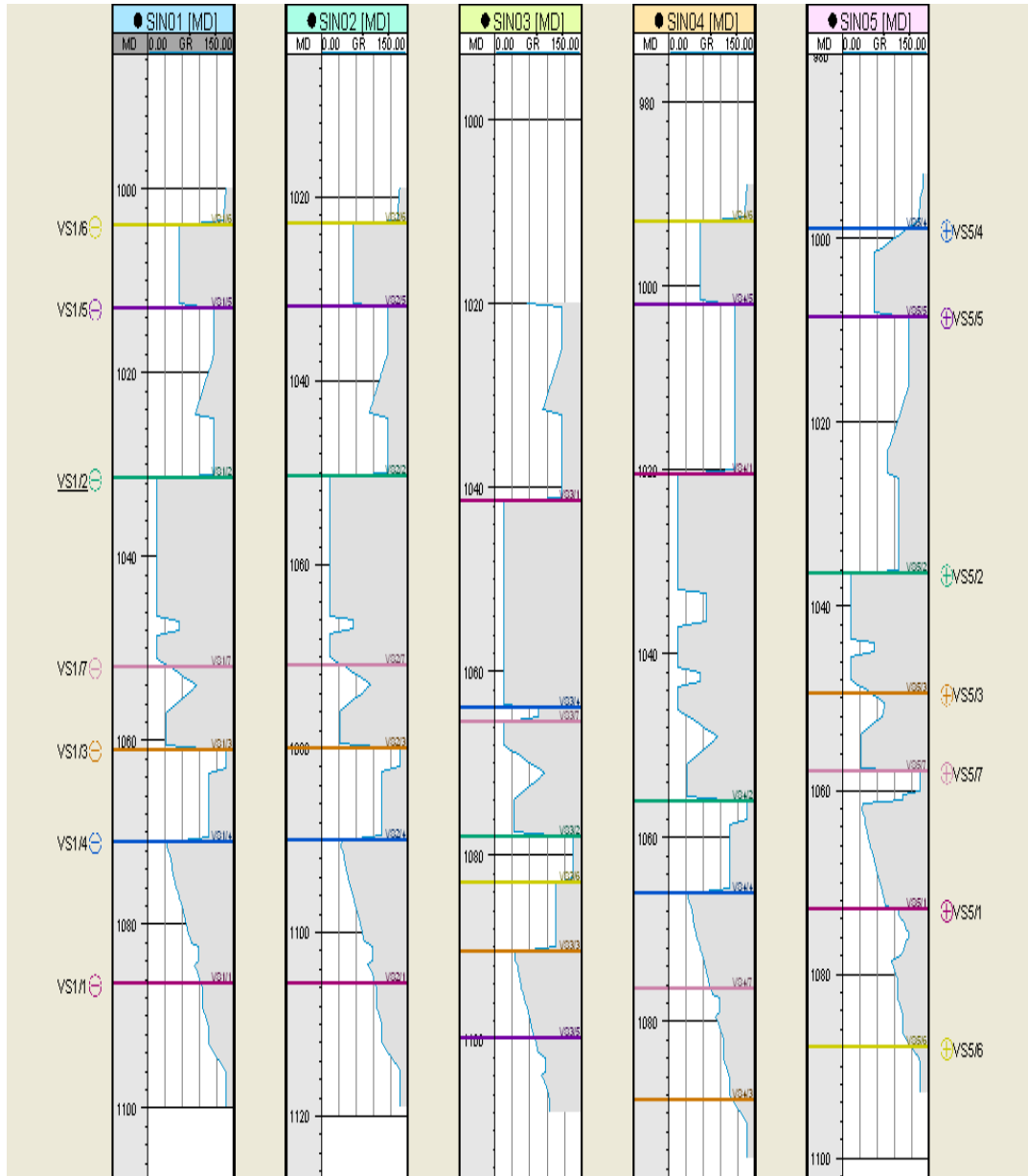


Figura 3.8. Contactos obtenidos por el análisis de la varianza.

Tabla 3.3. Tabla de profundidad de contactos obtenidos a partir del análisis de la varianza.

TABLA DE CONTACTOS ANÁLISIS DE LA VARIANZA SINTÉTICOS		
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
SIN01	VS1/6	1004.00
SIN01	VS1/5	1013.00
SIN01	VS1/2	1031.50
SIN01	VS1/7	1052.00
SIN01	VS1/3	1061.00
SIN01	VS1/4	1071.00
SIN01	VS1/1	1086.50
SIN02	VS2/6	1023.00
SIN02	VS2/5	1032.00
SIN02	VS2/2	1050.50
SIN02	VS2/7	1071.00
SIN02	VS2/3	1080.00
SIN02	VS2/4	1090.00
SIN02	VS2/1	1105.50
SIN03	VS3/1	1041.50
SIN03	VS3/4	1064.00
SIN03	VS3/7	1065.50
SIN03	VS3/2	1078.00
SIN03	VS3/6	1083.00
SIN03	VS3/3	1090.50
SIN03	VS3/5	1100.00
SIN04	VS4/6	993.00
SIN04	VS4/5	1002.00
SIN04	VS4/1	1020.50
SIN04	VS4/2	1056.00
SIN04	VS4/4	1066.00
SIN04	VS4/7	1076.50
SIN04	VS4/3	1088.50
SIN05	VS5/4	999.00
SIN05	VS5/5	1008.50
SIN05	VS5/2	1036.50
SIN05	VS5/3	1049.50
SIN05	VS5/7	1058.00
SIN05	VS5/1	1073.00
SIN05	VS5/6	1088.00

3.2.3. Método de Análisis Geométrico

La zonación de registros por análisis geométrico de las curvas se llevó a cabo mediante la corrida de otra subrutina del programa INLASPro, la cual se basa en el reconocimiento de contactos e identificación de intervalos, incorporando un algoritmo que determina el rasgo distintivo de los contactos en el registro mediante una regresión lineal con puntos de quiebre variables, los cuales son asignados como contactos luego de analizar si cumplen un conjunto de reglas que emulan los criterios de zonación visual de registros por parte de los intérpretes humanos, obteniendo de esta manera los puntos de segmentación del registro analizado.

La técnica antes descrita fue aplicada en los datos sintéticos, con el fin de evaluar si se identificaban las secuencias mayores determinadas por las técnicas convencionales, y de esta forma se obtuvo una sección con los contactos por pozo arrojados por el método (figura 3.9) y su respectiva tabla de profundidades (tabla 3.4).

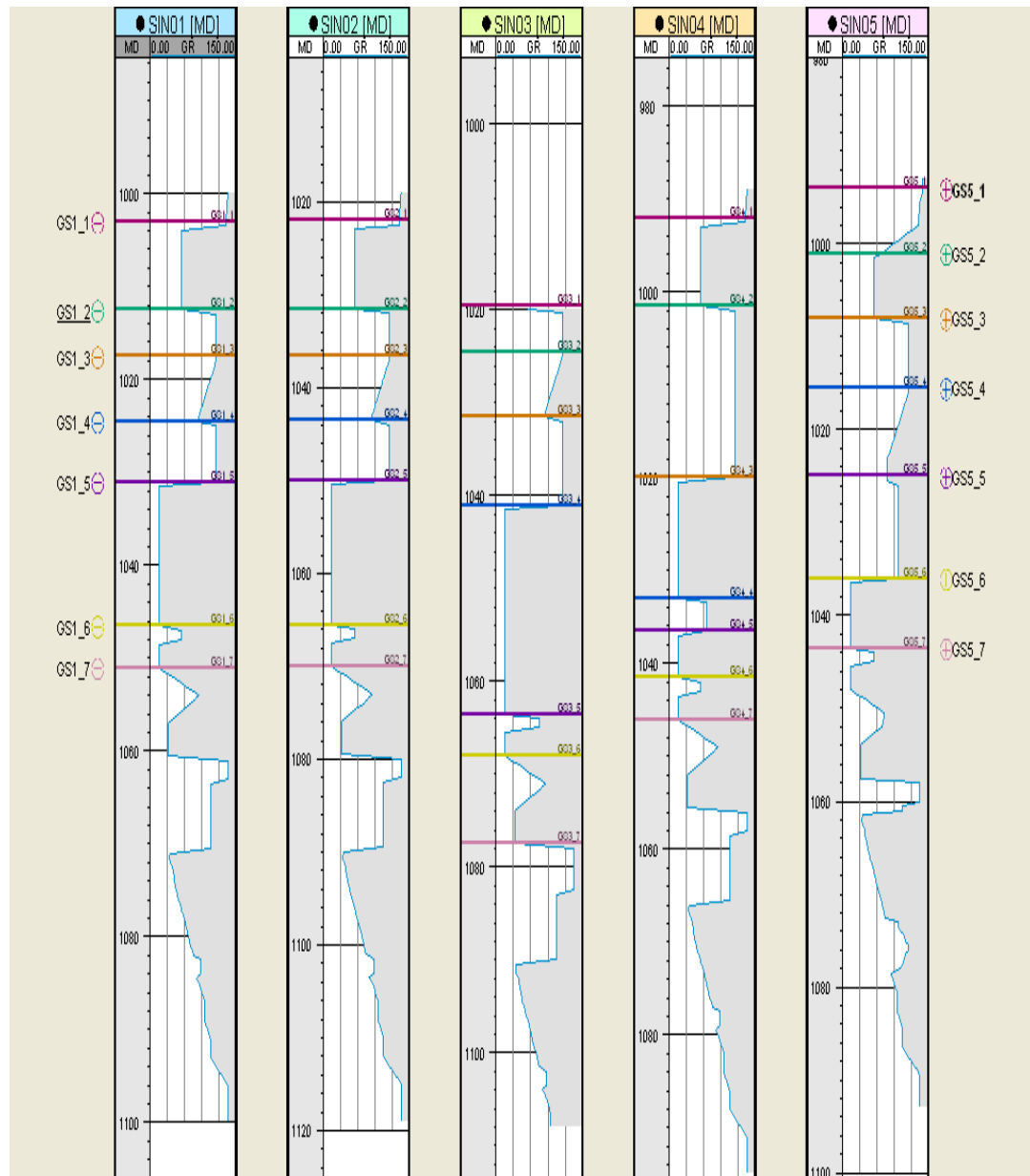


Figura 3.9. Contactos obtenidos por el método de análisis geométrico.

Tabla 3.4. Tabla de profundidad de contactos obtenidos a partir del método de análisis geométrico.

TABLA DE CONTACTOS ANÁLISIS GEOMÉTRICO SINTÉTICOS		
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
SIN01	GS1 1	1003.00
SIN01	GS1 2	1012.50
SIN01	GS1 3	1017.50
SIN01	GS1 4	1024.50
SIN01	GS1 5	1031.00
SIN01	GS1 6	1046.50
SIN01	GS1 7	1051.00
SIN02	GS2 1	1022.00
SIN02	GS2 2	1031.50
SIN02	GS2 3	1036.50
SIN02	GS2 4	1043.50
SIN02	GS2 5	1050.00
SIN02	GS2 6	1065.50
SIN02	GS2 7	1070.00
SIN03	GS3 1	1019.50
SIN03	GS3 2	1024.50
SIN03	GS3 3	1031.50
SIN03	GS3 4	1041.00
SIN03	GS3 5	1063.50
SIN03	GS3 6	1068.00
SIN03	GS3 7	1077.50
SIN04	GS4 1	992.00
SIN04	GS4 2	1001.50
SIN04	GS4 3	1020.00
SIN04	GS4 4	1033.00
SIN04	GS4 5	1036.50
SIN04	GS4 6	1041.50
SIN04	GS4 7	1046.00
SIN05	GS5 1	994.00
SIN05	GS5 2	1001.00
SIN05	GS5 3	1008.00
SIN05	GS5 4	1015.50
SIN05	GS5 5	1025.00
SIN05	GS5 6	1036.00
SIN05	GS5 7	1043.50

Una vez determinados los contactos para cada técnica, se procedió a determinar su equivalencia lateral entre los pozos, obteniendo así una correlación expresada en secciones por cada técnica, construyéndose una tabla de superficies presentada en orden estratigráfico donde se especifican los contactos considerados en cada pozo para la conformación de estas superficies. La sección y tabla de contactos resultante de la técnica de análisis de *cluster* (dendogramas) se muestran en la figura 3.10 y en la tabla 3.5 respectivamente, de igual forma se muestran la sección y tabla de contactos para la técnica de análisis de la varianza en la figura 3.11 y tabla 3.6, y los resultados del método geométrico en la figura 3.12 y tabla 3.7. Cabe destacar que

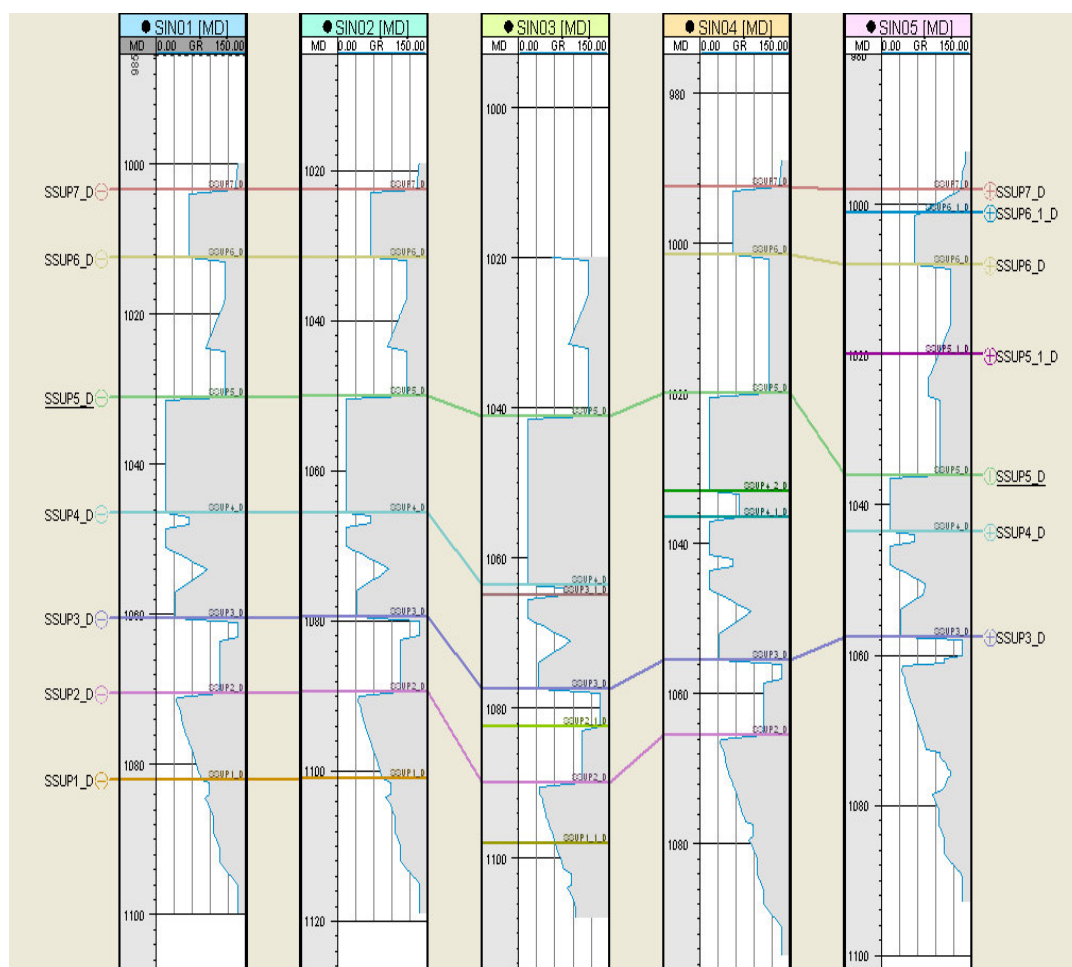


Figura 3.10. Correlación de contactos determinados mediante el análisis de *cluster* (dendogramas).

Tabla 3.5. Superficies obtenidas a partir de la correlación de los contactos detectados por el análisis de *clusters*, Registros Sintéticos.

Superficies por Clusters	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
SSUP7 D	DS1_3	DS2_3		DS4_1	DS5_3
SSUP6_1 D					DS5_5
SSUP6 D	DS1_4	DS2_4		DS4_2	DS5_4
SSUP5_1 D					DS5_7
SSUP5 D	DS1_1	DS2_1	DS3_1	DS4_3	DS5_1
SSUP4_2 D				DS4_5	
SSUP4_1 D				DS4_6	
SSUP4 D	DS1_5	DS2_5	DS3_7		DS5_6
SSUP3_1 D			DS3_2		
SSUP3 D	DS1_2	DS2_2	DS3_5	DS4_4	DS5_2
SSUP2_1 D			DS3_4		
SSUP2 D	DS1_6	DS2_6	DS3_3	DS4_7	
SSUP1_1 D			DS3_6		
SSUP1 D	DS1_7	DS2_7			

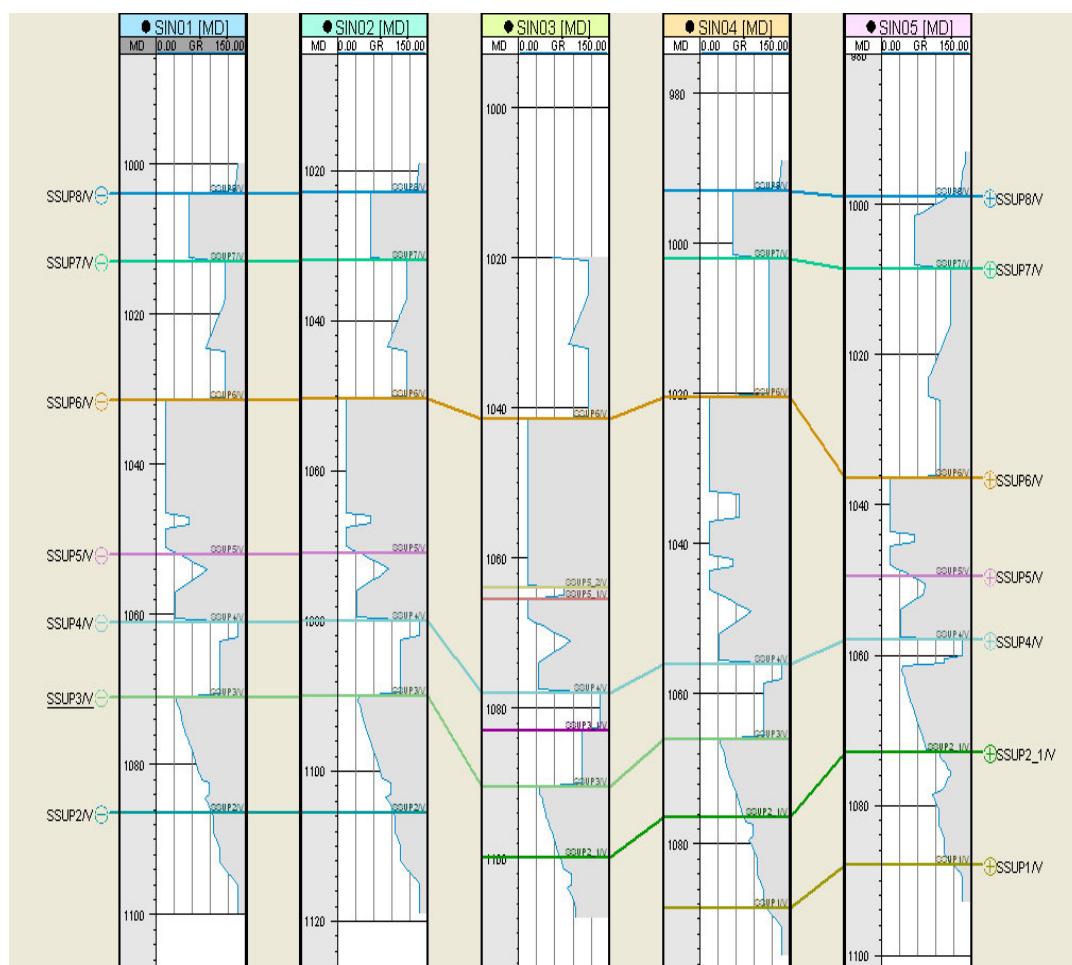


Figura 3.11. Correlación de contactos obtenidos mediante el análisis de la varianza.

Tabla 3.6. Superficies obtenidas a partir de la correlación de los contactos detectados por el análisis de la varianza, Registros Sintéticos.

Superficies por Varianza	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
SSUP8/V	VS1/6	VS2/6		VS4/6	VS5/4
SSUP7/V	VS1/5	VS2/5		VS4/5	VS5/5
SSUP6/V	VS1/2	VS2/2	VS3/1	VS4/1	VS5/2
SSUP5 2/V			VS3/4		
SSUP5 1/V			VS3/7		
SSUP5 V	VS1/7	VS2/7			VS5/3
SSUP4 V	VS1/3	VS2/3	VS3/2	VS4/2	VS5/7
SSUP3 1 V			VS3/6		
SSUP3 V	VS1/4	VS2/4	VS3/3	VS4/4	
SSUP2 1 V			VS3/5	VS4/7	VS5/1
SSUP2 V	VS1/1	VS2/1			
SSUP1 V				VS4/3	VS5/6

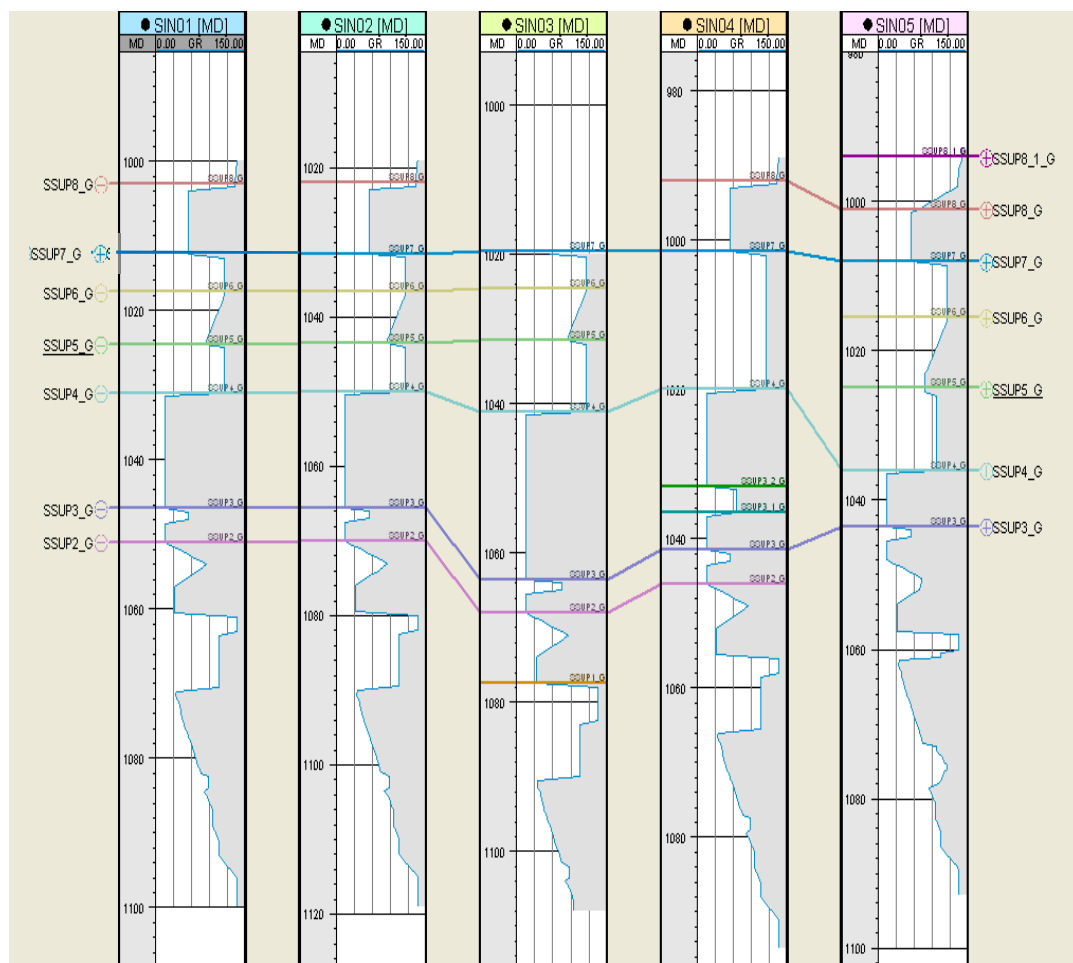


Figura 3.12. Correlación de contactos obtenidos por el método de análisis geométrico.

Tabla 3.7. Superficies obtenidas a partir de la correlación de los contactos detectados por el análisis geométrico, Registros Sintéticos.

Superficies por Geométrico	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
SSUP8_1_G					GS5_1
SSUP8_G	GS1_1	GS2_1		GS4_1	GS5_2
SSUP7_G	GS1_2	GS2_2	GS3_1	GS4_2	GS5_3
SSUP6_G	GS1_3	GS2_3	GS3_2		GS5_4
SSUP5_G	GS1_4	GS2_4	GS3_3		GS5_5
SSUP4_G	GS1_5	GS2_5	GS3_4	GS4_3	GS5_6
SSUP3_2_G				GS4_4	
SSUP3_1_G				GS4_5	
SSUP3_G	GS1_6	GS2_6	GS3_5	GS4_6	GS5_7
SSUP2_G	GS1_7	GS2_7	GS3_6	GS4_7	
SSUP1_G			GS3_7		

en algunos casos se observan casillas de color negro en las tablas, lo cual se debe a que en la sección estratigráfica respectiva esos marcadores sólo aparecen en algunos pozos, o a que el registro característico de los pozos en donde se encuentran dichas casillas en negro no cubre esa superficie o marcador.

3.3 Implementación en Datos Reales

Una vez comprobada la aplicabilidad y consistencia de las técnicas analizadas se procedió a la aplicación de las mismas a dos campos petrolíferos de Venezuela, uno ubicado en la Cuenca Petrolífera de Maracaibo (Campo Bloque VIII), de composición predominantemente carbonática, con intercalaciones de rocas siliciclásticas y el otro ubicado en la Cuenca Petrolífera de Oriente (Campo Jobo), compuesto por una sucesión de rocas siliciclásticas.

3.4. Interpretación y Análisis de Resultados

Finalmente, se procedió a la interpretación y posterior análisis de los resultados obtenidos. Conjuntamente se llevó a cabo un análisis de incertidumbre, basado en una comparación cuantitativa entre las profundidades que se obtuvieron como resultado por cada método, y la interpretación realizada mediante las técnicas convencionales de correlación.

CAPÍTULO IV

MARCO GEOLÓGICO

4.1 Campo Bloque VIII

El Campo Bloque VIII está delimitado entre las coordenadas 221.178 este; 1.086.847 norte y 237. 708 este; 1.102147 norte, además comprende un área de 235 km² (figura 4.1). Según “Schlumberger Oilfield Services” (1997) se encuentra ubicado en el centro del Lago de Maracaibo, y está conformado por formaciones de edad Cretácica, productoras de petróleo liviano. Las calizas cretácicas pertenecientes al campo, son excelentes productoras de crudo de alta calidad y además, los pozos cretácicos producen en flujo natural.

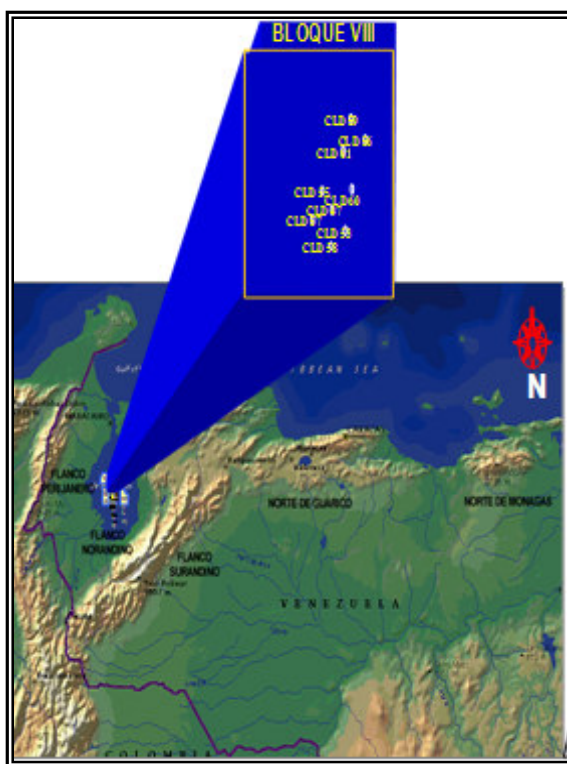


Figura 4.1. Mapa de ubicación del Campo Bloque VIII.

Geológicamente el Campo Bloque VIII se encuentra sobre el basamento ígneo-metamórfico, de la cuenca del Lago de Maracaibo, y a los 17.000 pies, comienza la secuencia sedimentaria con el conglomerado de la Formación Río Negro. Siguen las calizas cretácicas, Grupo Cogollo, Formación La Luna, y calizas de Socuy de la Formación Colón. Termina el Cretácico con las lutitas Colón y el Miembro Mito Juan (Yoris, Ostos y Zamora, 1997).

Estructuralmente los pozos pertenecientes a este campo se encuentran a lo largo del sistema de fallas de Lama-Icotea, sobre el sinclinorio central del lago (González de Juana et al., 1980).

4.1.1 Geología Regional

El Campo Bloque VIII forma parte de la Cuenca Petrolífera de Maracaibo, situada al noroeste de Venezuela (figura 4.2).



Figura 4.2. Ubicación de la Cuenca Petrolífera de Maracaibo (modificado de Giffuni et al., 1994).

En sentido estricto y restringida a territorio venezolano, esta cuenca se extiende sobre toda el área ocupada por las aguas del lago y los terrenos planos o suavemente ondulados que la circundan y que de modo general, pueden delimitarse como sigue: al oeste-noroeste por el piedemonte de la Sierra de Perijá; al oeste-suroeste por la frontera colombiana hasta un punto sobre el río Guarumito, 12,5 km al oeste de la población de La Fría; al sureste por el piedemonte andino desde el punto mencionado hacia el río Motatán, ligeramente al este del cruce de Agua Viva; al este-noreste por la zona de piedemonte occidental de la Serranía de Trujillo y una línea imaginaria dirigida al norte hasta encontrar la frontera de los estados Zulia y Falcón, donde puede observarse un pequeño saliente hacia el este en la región de Quirós y en su parte norte, por la línea geológica de la falla de Oca (González de Juana “et al.”, 1980).

La extensión de este trapezoide, de aproximadamente 50.000 km², corresponde políticamente en su mayor parte al estado Zulia y extensiones menores a los estados Táchira, Mérida y Trujillo. Las líneas mencionadas anteriormente son bastante arbitrarias en sentido fisiográfico y geológico, pero corresponden en realidad al carácter geo-económico de la cuenca petrolífera como tal (González de Juana “et al.”, 1980).

Geográficamente la Cuenca Petrolífera de Maracaibo está totalmente incluida dentro de la hoya hidrográfica del Lago de Maracaibo, mucho más extensa. Geológicamente, pertenece al tipo Intermontano Siguiendo el Rumbo (González de Juana “et al.”, 1980).

Según algunos autores en el Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela (1999), el Grupo Cogollo (que forma parte del Campo Bloque VIII) abarca desde la península de La Guajira, área de Perijá-Machiques hasta la plataforma de Maracaibo. Al disminuir el contenido carbonático al sur hacia Táchira y Mérida, es reemplazado por las formaciones Apón y Aguardiente, y por la Formación Peñas Altas en Lara-por

Trujillo y Formación Escandalosa hacia la cuenca de Barinas.

4.1.2 Geología Local

Estratigrafía

La columna está comprendida por el Grupo Cogollo (Formaciones Apón, Lisure, y Maraca) (figura 4.3), el cual suprayace a la Formación Río Negro e infrayace a la Formación La Luna.

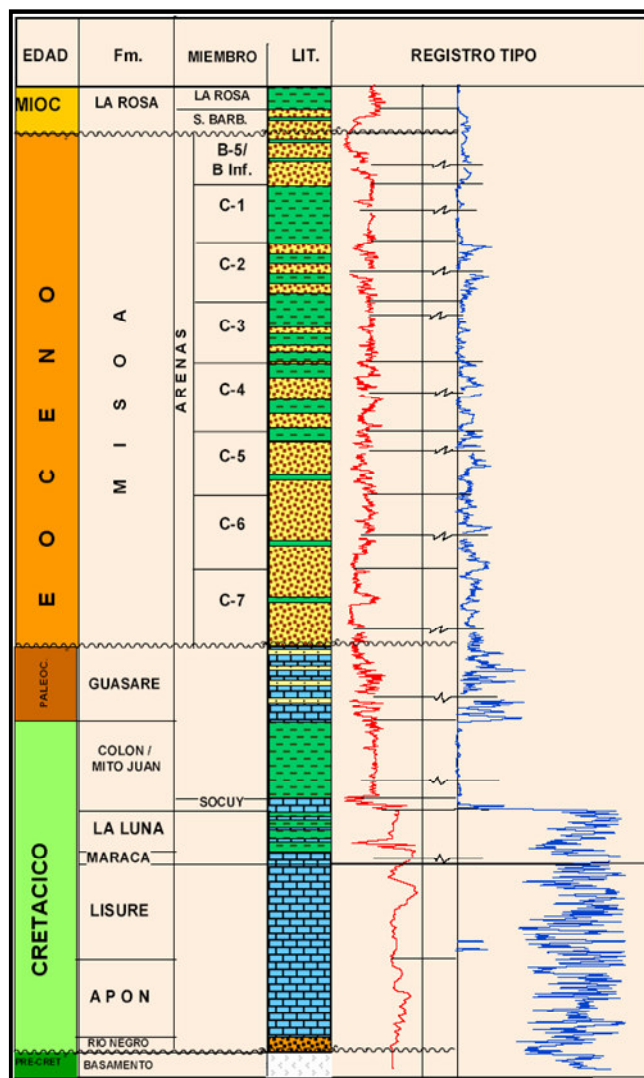


Figura 4.3. Columna Estratigráfica y Registro Tipo del Campo Bloque VIII.

El Grupo Cogollo de base a tope se caracteriza por calizas densas, fosilíferas, con cantidades subordinadas de lutitas oscuras y pocas arenas calcáreas. Algunos de sus autores proponen el espesor en el subsuelo del lago de Maracaibo con un promedio de 268 m (805') para el Campo Urdaneta Noreste y también para el centro del lago. Sin embargo, también se consideran por otros estudios unos 610 m (2.000'). En cuanto a los contactos, su base es transicional con las primeras calizas marinas, que se encuentran por encima de las areniscas de la Formación Río Negro. El contacto superior con la Formación La Luna, está marcado por un fuerte cambio litológico a calizas y lutitas calcáreas, generalmente oscuras, que aunque sus relaciones parecen ser concordantes y transicionales, sugieren un cambio drástico en las condiciones ambientales (Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela, 1999).

La **Formación Apón** es de edad Cretácico (Aptiense-Albiense), su contacto infrayacente es transicional con la Formación Río Negro, y en la subcuenca de Machiques y la plataforma de Maracaibo, su contacto suprayacente es con la Formación Lisure. Algunos autores reportan 850 m de espesor en la localidad tipo definida en el río Apón, 10 km al oeste de Machiques. Algunos autores describen tres facies: una inferior, de calizas arenosas de tipo “wackestone” y “packestone”, con dolomita, restos de fósiles, intraclastos, pellets, con espesor entre 2-4 m, intercaladas con lutitas areniscas cuarzosas; una segunda facies que presenta calizas más puras, tipo “wackestone” y “packestone”, sin cuarzo y más fosilíferas, con abundancia de intraclastos y pellets, limolitas y margas; y la tercera y superior facies, con lutitas y limolitas que presentan rombos de dolomita, arenisca fina y “wackestone”-“packestone”, con fragmentos de bivalvos, con espesor entre 30-35 m, pero puede desaparecer (Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela, 1999).

La **Formación Lisure** Cretácico (Albiense), es concordante en su base con la Formación Apón en contacto abrupto y en el tope, es transicional con la Formación Maraca. Se encuentra con espesores entre 138-156 m, y consiste en areniscas glauconíticas de grano medio a fino, de color gris azulado a gris verdoso, calizas

arenosas glauconíticas laminadas, areniscas micáceas que alternan con lutitas arenoso-arcillosas de color gris azulado, calizas glauconíticas y algunas calizas lutíticas (Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela, 1999).

Para la **Formación Maraca** de edad Cretácico (Albiense Tardío-Cenomaniense), la base es transicional con la Formación Lisure y el contacto superior coincide en una transición rápida con la primera aparición de calizas bituminosas negras y laminadas de la Formación La Luna. Tiene un espesor aproximado de 40 m y consiste en pocas areniscas glauconíticas y calcáreas hacia la base, en transición con la Formación Lisure infrayacente, y más distintivamente está caracterizada por calizas bloclásticas coquinoides macizas, formadas principalmente por *Ostreas* y *Trigonia*, con algunas intercalaciones de capas delgadas de margas y lutitas de color gris y ocre claros (Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela, 1999).

4.1.3 Aspectos estructurales del Lago de Maracaibo

Según González de Juana “et al.” (1980), la Cuenca Petrolífera de Maracaibo está enmarcada por tres alineamientos orogénicos mayores: la Sierra de Perijá al oeste, Los Andes de Mérida al sureste y la Serranía de Trujillo al este; el marco se completa con el sistema de la falla de Oca en el norte que aparentemente separa la Cuenca Petrolífera de Maracaibo propiamente dicha de la Cuenca del Golfo de Venezuela, aún no completamente definida.

Dentro de los elementos tectónicos se desarrolla un amplio sinclinatorio que integra estructuralmente a la Cuenca Petrolífera de Maracaibo; dentro del mismo se conocen diversos alineamientos tectónicos, no pocos de los cuales tienen gran importancia para la producción de petróleo (González de Juana “et al.”, 1980).

Se conocen cinco alineamientos de dirección aproximada sur-norte que se destacan entre todos los demás por su pronunciado relieve estructural; enumerados de

noroeste a sureste, éstos son el alineamiento de La Paz-Mara-El Moján; el alineamiento de la falla de Icotea; el alineamiento de Pueblo Viejo-Ceuta; la estructura de Misoa-Mene Grande y el anticlinorio de Tarra, situado en la parte suroccidental de la cuenca, cerca de la frontera con Colombia. Una característica común a estos cinco alineamientos es el severo falla-miento longitudinal sobre, o cerca de, las zonas crestales. Los alineamientos con menor relieve estructural son bastante numerosos y se presentan entre las estructuras de mayor relieve; a pesar de su menor relieve, en varios de ellos se ha encontrado una prolífica producción de petróleo (González de Juana “et al.”, 1980).

4.2 Campo Jobo

Geográficamente, el Campo Jobo está localizado al noreste de Venezuela, aproximadamente a 100 km al sur de la ciudad de Maturín, estado Monagas. Tiene una extensión aproximada de 30 km de largo por 8 km de ancho ocupando un área de 240 km² (figura 4.4).

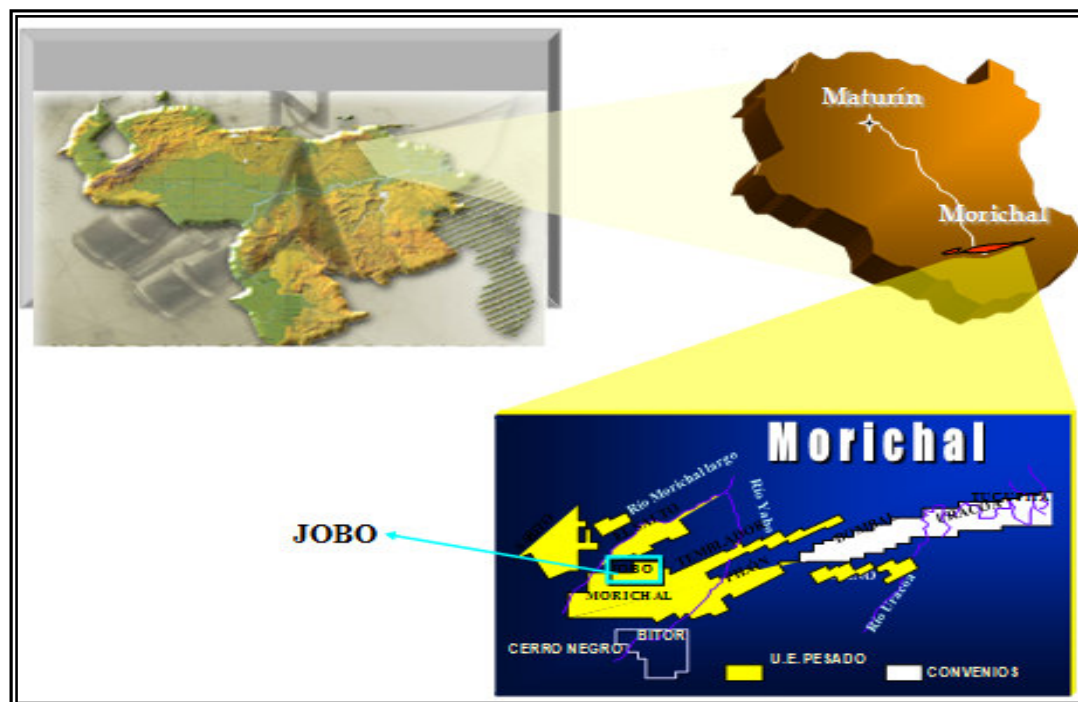


Figura 4.4. Mapa de ubicación del Campo Jobo.

Comprende áreas tradicionales de crudos pesados y extrapesados y aporta cerca del 60% de la producción total de dichas áreas. Limita al noreste con el río Morichal Largo, al sur con el Campo Morichal y al este con el Campo Pílon formando parte de la Cuenca Oriental de Venezuela, (Llamedo “et al.”, 1997).

El Campo Jobo está situado tres kilómetros al suroeste de Temblador (figura 4.5), dentro del homoclinal de buzamiento norte. La acumulación se descubrió al norte de la falla Pílon, con buzamiento sur de 60° - 70° y desplazamiento que llega hasta más de 300'. El límite este está determinado por una falla transversal de dirección noreste que separa a Jobo del Campo Pílon. Al oeste se desarrolló el Campo Morichal que se fue acercando al Campo Jobo con los pozos de avanzada hasta considerarse una sola acumulación, aunque el buzamiento regional norte presenta localmente algunas variaciones debidas a pliegues y fallas (Barreto, 2004).

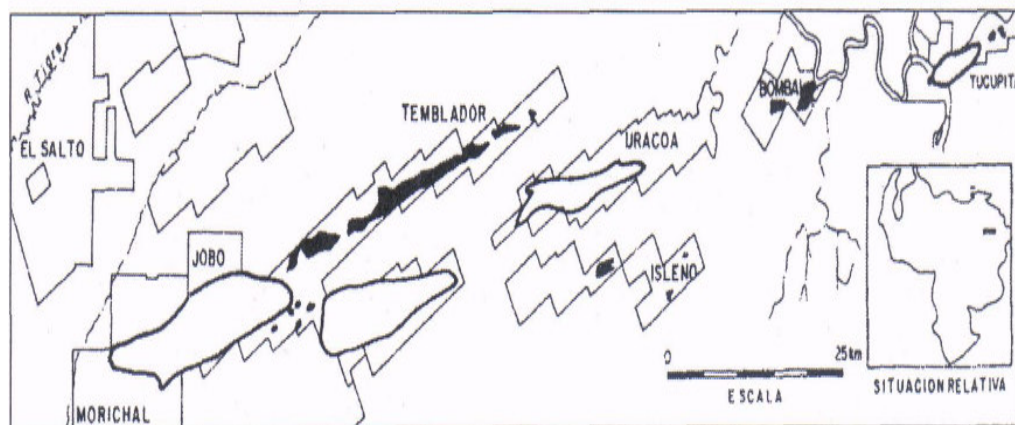


Figura 4.5. Localización del Campo Jobo, en el Área Mayor del Temblador (tomado de González de Juana et al., 1980).

La estructura de la región es un suave monoclinal de buzamiento norte, cortado por fallas preferentemente de rumbo este-oeste con desplazamiento hacia el sur. En particular la falla de Jobo, que controla la acumulación de petróleo en este campo, tiene un desplazamiento que alcanza 400' (121 m) (Barreto, 2004).

La Formación Oficina es la unidad productora del campo, dividida anteriormente, en cuatro miembros que desde la base se denominan: Morichal, Yabo, Jobo y Pílon. Esta Formación está representada por unas alternancias de areniscas y lutitas fluvio-deltáicas y de ambiente marino muy somero, perfectamente diferenciadas en dos ciclos sedimentarios arenáceos: Miembro Morichal el inferior y Miembro Jobo el superior, separados por un intervalo marino de lutitas, Miembro Yabo muy uniforme y constante (Barreto, 2004).

4.2.1 Geología Regional

La Cuenca Oriental de Venezuela está localizada al noreste de Venezuela entre 8° y 11° latitud norte y 61° y 66° latitud oeste. Los límites de la Cuenca Oriental de Venezuela son: el Escudo Precámbrico de Guayana al sur, el Arco de El Baúl al oeste, la corteza oceánica del Atlántico ecuatorial al este y los cinturones ígneos y metamórficos de la Cordillera de la Costa y Araya-Paria al norte, (Di Croce, 1995).

De oeste a este, la Cuenca Oriental de Venezuela a su vez se divide en dos subcuencas: la de Guárico al oeste y la de Maturín al este (figura 4.6). El límite que



Figura 4.6. Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus Provincias (tomado de Yoris, Ostos y Zamora, 1997).

separa la subcuenca de Guárico del cinturón plegado de la Serranía del Interior y la subcuenca de Maturín es el sistema de falla de Úrica. Más hacia el sur las subcuencas de Guárico y Maturín son separadas por los anticlinales del sistema de falla de Anaco y sus estructuras de inversión asociadas (Barreto, 2004).

En Venezuela esta depresión tiene una longitud aproximada de 800 km en sentido oeste-este, una anchura promedio de 200 km de norte a sur y un área total aproximada de 165.000 km² en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Territorio Delta Amacuro y una extensión menor en el estado Sucre. La cuenca actual es asimétrica, con su flanco sur ligeramente inclinado hacia el norte y un flanco norte más tectonizado y con mayores buzamientos, conectado a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el norte. (González de Juana “et al.”, 1980).

El espesor de las columnas sedimentarias terciarias varía desde pocos centenares de metros en los bordes meridional y occidental, hasta 6 y 8 km en las partes profundas de la cuenca. El volumen total de sedimentos terciarios se estima en alrededor de medio millón de kilómetros cúbicos (Barreto, 2004).

González de Juana “et al.” (1980), distingue ocho áreas principales productoras de petróleo en la Cuenca Oriental de Venezuela: Área de Guárico, Área Mayor de Anaco, Área Mayor de Oficina, Área Mayor de Temblador, Faja Petrolífera del Orinoco, Área Mayor de Jusepín, Área de Quiriquire y Área de Pedernales.

Una de las áreas de interés de este trabajo es el Área Mayor de Temblador, específicamente la región de Jobo.

4.2.2 Geología Local

Estratigrafía

En su estudio, González de Juana “et al.” (1980) afirman que las acumulaciones de petróleo en los campos del Área Mayor de Temblador son muy similares estratigráficamente, presentando las mismas características de la zona sur de la Cuenca Oriental de Venezuela. El basamento lo constituye un complejo ígneo-metamórfico precámbrico que representa el borde septentrional del Escudo de Guayana. Sobre el basamento yace una secuencia de unidades sedimentarias (figura 4.7).

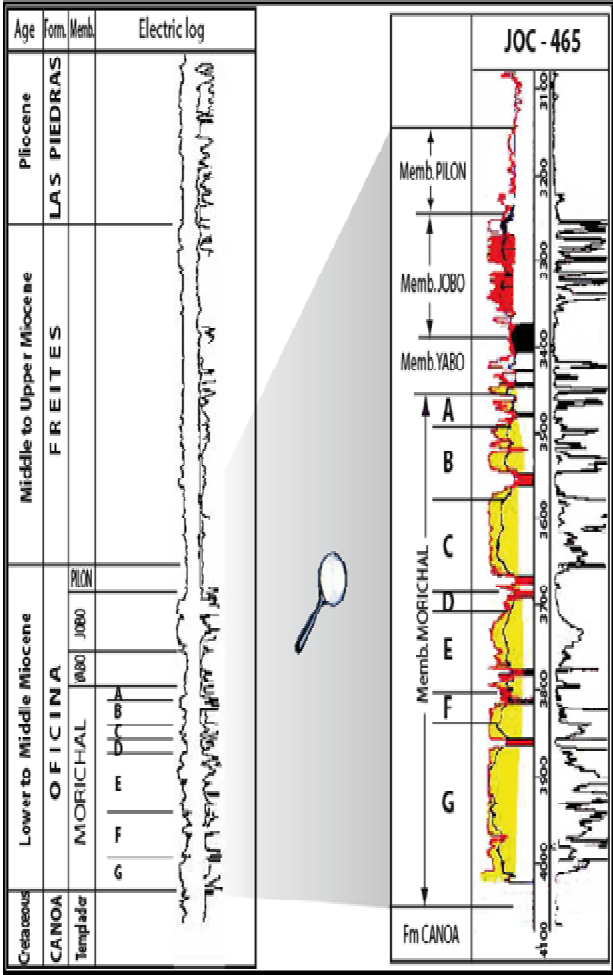


Figura 4.7. Columna Estratigráfica y Registro Tipo del Campo Jobo (modificado de Almarza, 1997).

El basamento probablemente corresponde a la Serie Imataca, que aflora al sur del Orinoco. Está constituida por micaesquistos, dioritas cuarcíferas y granito. Este basamento precámbrico desciende suavemente hacia el norte a la tasa de 25 m por kilómetro entre el cauce actual del Orinoco y el Campo Temblador, donde aumenta a 60 m por kilómetro. El pozo Temblador-1 penetró el basamento a los 4.997' (1523 m) (Yoris, Ostos y Zamora, 1997).

A continuación se describen las unidades sedimentarias que yacen sobre este basamento, de manera resumida modificado de Almarza (1997):

Solamente la unidad basal del **Grupo Temblador**, la Formación Canoa (Cretácico medio), está presente en el área ya que la Formación Tigre desaparece por truncamiento. La Formación Canoa consiste litológicamente en arcilitas y abundantes arenas de grano fino a grueso, subangular a redondeado, y lutitas, menos abundantes, carbonosas, micáceas y piríticas. El ambiente de sedimentación es probablemente de tipo fluvial. La Formación se adelgaza hacia el sur y termina por acuñarse contra el basamento.

La **Formación Oficina** (Mioceno Temprano a medio) descansa discordantemente sobre la Formación Canoa. En los campos Temblador y Jobo el espesor llega a los 900'. En los campos El Salto, Jobo-Morichal y Temblador la Formación Oficina fue dividida en cuatro miembros que, desde la base, se denominan Morichal, Yabo, Jobo y Pílon. Se compone principalmente de una alternancia de areniscas y lutitas fluvio-deltáicas y de ambiente marino muy somero, perfectamente diferenciadas en dos ciclos sedimentarios arenáceos, Miembro Morichal el inferior y Miembro Jobo el superior, separados por un intervalo marino de lutitas con más de 40' de espesor, Miembro Yabo, muy uniforme y constante (Almarza, 1997).

El **Miembro Morichal** es el de mayor espesor, con 650', y suele contener potentes intervalos arenosos en lentes de hasta 80-100' con grano fino a medio, poco

consolidados, intercalados con lutitas carbonosas y limo litas con capas de lignito. Presenta la mayor acumulación de arena de la Formación Oficina (hasta siete paquetes de arena en Campo Jobo) con facies de corrientes entrelazadas y combinación de barras de meandro y de desembocadura (Almarza, 1997).

El **Miembro Yabo** es lutítico, 45' a más de 90' de espesor, con ocasionales lentes arenosos de grano fino. Su ambiente indica una transgresión marina de corta duración entre los intervalos Morichal y Jobo (Almarza, 1997).

El **Miembro Jobo** un intervalo predominantemente arenoso, de bajo delta y bajas litorales intercaladas, con espesor de 130-240', que muestra capas delgadas de lignito. Consiste en arenas sueltas de grano fino a medio, a veces con lutitas macizas o laminadas intercaladas. Hacia el tope los sedimentos se hacen calcáreos, culminando en facies típicas de ambiente próximo costero. En el Campo Jobo muestra seis lentes arenosos principales y un espesor promedio de 210' (Almarza, 1997).

El **Miembro Pilón** es esencialmente lutítico y representa el paso transicional de la Formación Oficina a la Formación Freites. Hacia la Faja Petrolífera del Orinoco contiene arenas de ambiente litoral, con buenas características de yacimiento (Almarza, 1997).

La **Formación Freites** (Mioceno Medio a Mioceno Tardío basal), concordante sobre la Formación Oficina, consiste litológicamente de lutitas, arcillas y arenas calcáreas glauconíticas y fosilíferas, medianamente consolidadas y de grano fino a medio. En el Campo Jobo tiene un espesor máximo de 1.340' y en el área de Pilón llega a 1.500' de arenas intercaladas con lutitas. Pasa transicionalmente a la Formación Las Piedras, suprayacente (Almarza, 1997).

La **Formación Las Piedras** (Mioceno Tardío-Plioceno), con origen continen-

tal de tipo fluvial, está constituida por capas poco consolidadas de arenisca carbonácea, friable, de grano fino a grueso, asociada con arcillas y lutitas; presenta abundantes lignitos y gravas (Almarza, 1997).

La **Formación Mesa** (Pleistoceno) cubre discordantemente la mayor parte del área. Está compuesta por arenas, gravas y conglomerados, alternando con arcillas. En el Campo Jobo promedia 1.500' de espesor (Almarza, 1997).

4.2.3 Aspectos estructurales del Área Mayor de Temblador

Los campos del Área Mayor de Temblador tienen gran semejanza estructural, y se encuentran todos sobre un homoclinal de rumbo N 70° E, donde el basamento descende suavemente (4° a 5°) hacia el norte, cortado por fallas normales escalonadas de dirección general este-noreste. La mitad de las fallas buza al sur, limitando los yacimientos. En los bloques levantados se produjo el arqueamiento que constituye factor importante para la acumulación de los hidrocarburos (Barreto, 2004).

La mayoría de las fallas son no-sellantes, normales y de gran extensión (superior a los 15 km) con desplazamientos verticales que oscilan entre 50' y 200' (Yoris, Ostos y Zamora, 1997). El desplazamiento vertical en el sector norte es mayor que en el sector sur.

Entre las principales fallas con buzamiento y desplazamiento al sur se encuentran las fallas de Tucupita, Jobo, Pílon, Uracoa y Temblador, esta última presentando numerosas fallas ramificadas. Este movimiento estructural se ha ubicado en el Mioceno superior y Plioceno inferior, puesto que las fallas afectan la Formación Las Piedras inferior y medio y se profundizan dentro de basamento (Almarza, 1997).

Las acumulaciones de hidrocarburos están controladas esencialmente por trampas estratigráficas y, por ello, no se encuentran contactos agua-petróleo regionales ni tampoco contactos gas-petróleo (Yoris, Ostos y Zamora, 1997). Este entrapamiento estratigráfico adquiere cierta importancia en los bordes este y oeste de los yacimientos, debido al acuñamiento lateral de las arenas.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN EN DATOS REALES

5.1 Caso 1. Campo Bloque VIII, Lago de Maracaibo

Del Campo Bloque VIII, el cual se ubica en la Cuenca Petrolífera de Maracaibo se consideró para este estudio un área de aproximadamente 40,375 km², que comprende un total de ocho pozos (CLD_047, CLD_053, CLD_055, CLD_056, CLD_057, CLD_059, CLD_060, Y CLD_061) (figura 5.1). La aplicación de las técnicas objeto de este trabajo se efectuó para el intervalo correspondiente al Grupo Cogollo de edad Cretácico Inferior, conformado por una sucesión de rocas de composición predominantemente carbonática, con intercalaciones de rocas siliciclásticas.

5.1.1 Recolección de Datos

En esta sección se llevó a cabo la recolección de todos los datos disponibles, para realizar posteriormente la aplicación de la metodología desarrollada en el capítulo 3.

Se realizó, para este campo petrolífero, la recopilación y preparación de los grupos de registros de pozo los cuales se encuentran en archivos. LAS (*Log ASCII Standard*) que almacenan los registros disponibles de cada pozo. La tabla 5.1 muestra un resumen de los registros disponibles para cada pozo. Con base a este inventario de curvas de cada campo, se seleccionaron las curvas comunes en cada pozo, siendo los resultados los presentados en la tabla 5.2.

A su vez, de los registros mostrados en la tabla 5.2 se descartó el registro RM,

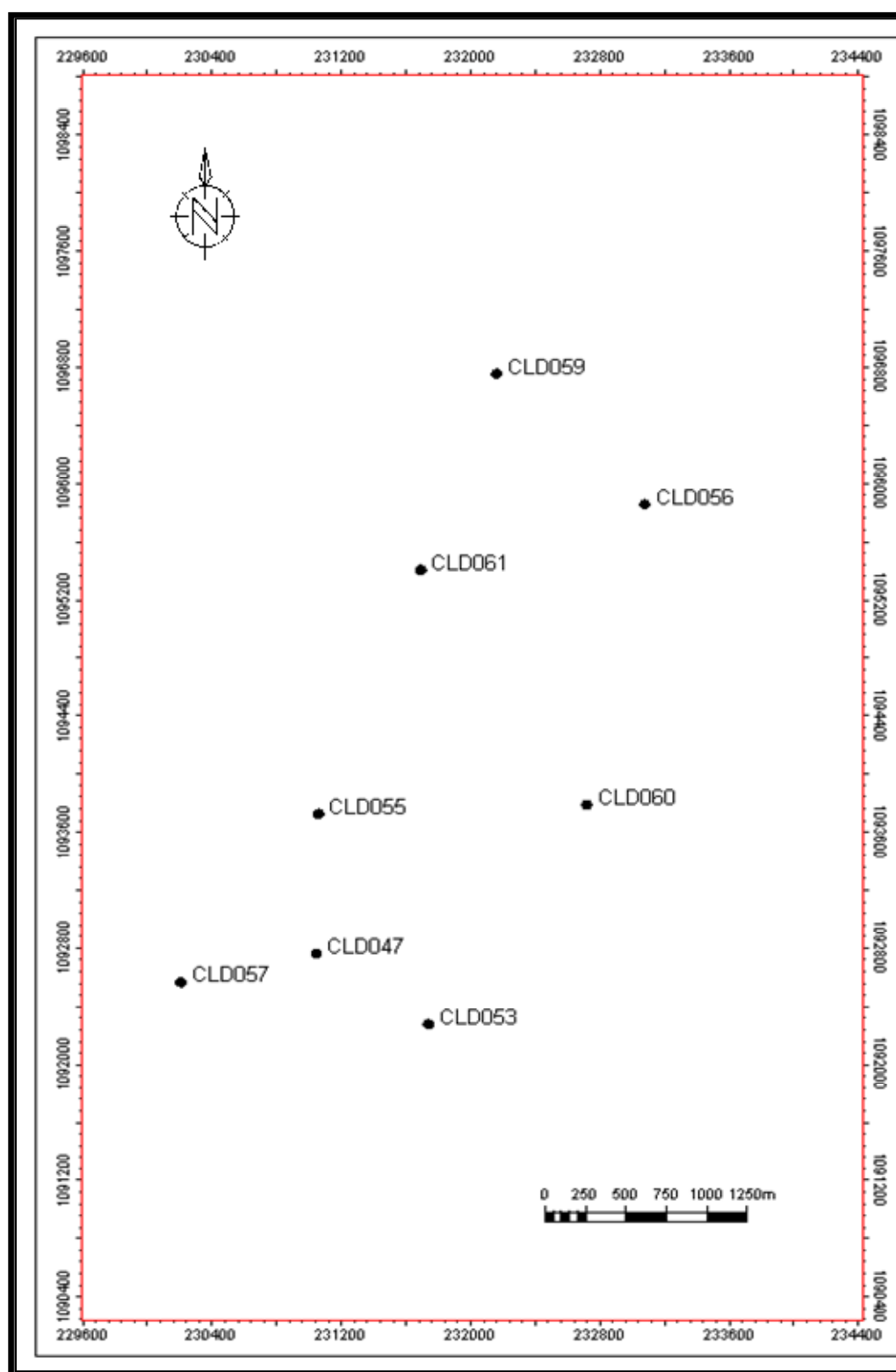


Figura 5.1. Mapa base del área de estudio, Campo Bloque VIII.

Tabla 5.1. Tabla con lista de registros disponibles para cada pozo, Campo Bloque VIII.

CAMPO	BLOQUE VIII									
	CLD_047	CLD_053	CLD_055	CLD_056	CLD_057	CLD_059	CLD_060	CLD_061		
POZOS	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1
	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI
	DRHO	CorrectedSonic1	CRD	CRD	CRD	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO
	GR	CRD	DRHO	DRHO	DRHO	GR	GR	GR	GR	GR
	NPHI	DRHO	GR	GR	GR	GRC	GRC	GRC	GRC	GRC
	RD	GeneralTime1	GRC	GRC	GRC	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI
	RHOB	GR	NPHI	NPHI	NPHI	RD	RD	RD	RD	RD
	RM	GRC	RD	RD	RD	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB
	Sonic	NPHI	RHOB	RHOB	RHOB	RM	RM	RM	RM	RM
	SP	RD	RM	RM	RM	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic
	SPC	RHOB	Sonic	Sonic	Sonic	SP	SP	SP	SP	SP
		RM	SP	SP	SP	SPC	SPC	SPC	SPC	SPC
		RS	SPC	SPC	SPC					
		Sonic								
REGISTROS DISPONIBLES		Sonic_Cretacico								
		SP								
		SPC								

Tabla 5.2. Tabla de registros comunes para cada pozo, Campo Bloque VIII.

CAMPO	BLOQUE VIII									
	CLD_047	CLD_053	CLD_055	CLD_056	CLD_057	CLD_059	CLD_060	CLD_061		
POZOS	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1	AcousticImpedance1
	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI	CALI
	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO
	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR
	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI
	RD	RD	RD	RD	RD	RD	RD	RD	RD	RD
	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB
	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM
	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic	Sonic
	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP
	SPC	SPC	SPC	SPC	SPC	SPC	SPC	SPC	SPC	SPC
REGISTROS COMUNES										

que proporciona información similar al RD, ya que mide la misma propiedad; una consideración semejante se tomó para eliminar los registros SP y SPC, ya que éstos proporcionan información similar, desde el punto de vista litológico, a la que proporciona el registro de GR. El registro Acousticimpedance1 fue descartado por medir una propiedad similar a la del registro sónico, la curva CALI no se utilizó, ya que para el objetivo de este estudio no se requiere trabajar con el diámetro del hoyo, y el perfil DRHO también fue eliminado porque la información que proporciona es una corrección del registro RHOB. De esta manera, se consideraron para el desarrollo del estudio las siguientes curvas: GR, RD, RHOB, NPHI y *Sonic*.

5.1.2 Procesamiento de Datos

Para el método de análisis de *cluster*, donde se utilizó el programa *MVSP*, se procedió a realizar el remuestreo de los registros de pozo, pasándolos de tener una muestra cada 0.5 pies de profundidad a una muestra cada cinco pies de profundidad, esto con la finalidad de disminuir el número de muestras a analizar, debido a las limitaciones del programa.

Previo a la aplicación de las técnicas de análisis de la varianza y método de análisis geométrico se realizó un análisis de componentes principales, cuya función fue la de generar un registro (PCA1), que represente la mayor varianza de las variables de entrada (registros seleccionados) para cada pozo. Este registro generado (PCA1) constituye los datos de entrada para la aplicación de estas técnicas de estudio.

En la tabla 5.3, se observa la matriz de PCA correspondiente, donde se puede observar el aporte de cada registro en la curva generada. La curva que proporciona el mayor aporte para el análisis definitivo, es la de RD con un 89.38 %, respecto a las demás curvas. En general, la contribución de todos los datos de las curvas utilizadas para la generación del nuevo registro (PCA1) es de 47.49 %.

Tabla 5.3. Matriz de PCA, Campo Bloque VIII.

Correlation Coefficients	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
GR	0.0280	0.8074	0.5771	0.1151	0.0302
RD	0.8938	-0.2543	0.1613	0.1814	-0.2785
IHPH	-0.5793	-0.5624	0.5051	-0.2961	-0.0728
RHOB	0.7878	0.3415	-0.0686	-0.5079	-0.0076
DT	-0.7867	0.4960	-0.2368	-0.0804	-0.2693
Eigenvalue	2.3747	1.3956	0.6751	0.3982	0.1564
Contribution (%)	47.49	27.91	13.50	7.96	3.13
Cumulative Contribution (%)	47.49	75.41	88.91	96.87	100.00

5.1.3 Implementación de Técnicas de Estudio

Con el conjunto de pozos de estudio, y el set de curvas determinados anteriormente para este campo, se procedió a trabajar los datos en la plataforma de interpretación integrada *Landmark*, en su aplicación *stratworks (correlation)* (figura 5.2).

Se realizó el reconocimiento de contactos de secuencias o unidades geológicas en cada pozo, buscando los principales cambios en las respuestas geométricas de los registros, para la posterior correlación de estos contactos entre los pozos, aplicando las técnicas convencionales de correlación litoestratigráfica, resultando el reconocimiento de un total de once unidades delimitadas por doce contactos en cada pozo. En la figura 5.3 se muestra la sección estratigráfica generada manteniendo una distancia uniforme entre los pozos, y en la tabla 5.4 se muestran las profundidades de los contactos identificados en cada pozo.

A continuación se describe la aplicación de las técnicas de estudio seleccionadas objeto de este trabajo para este campo.

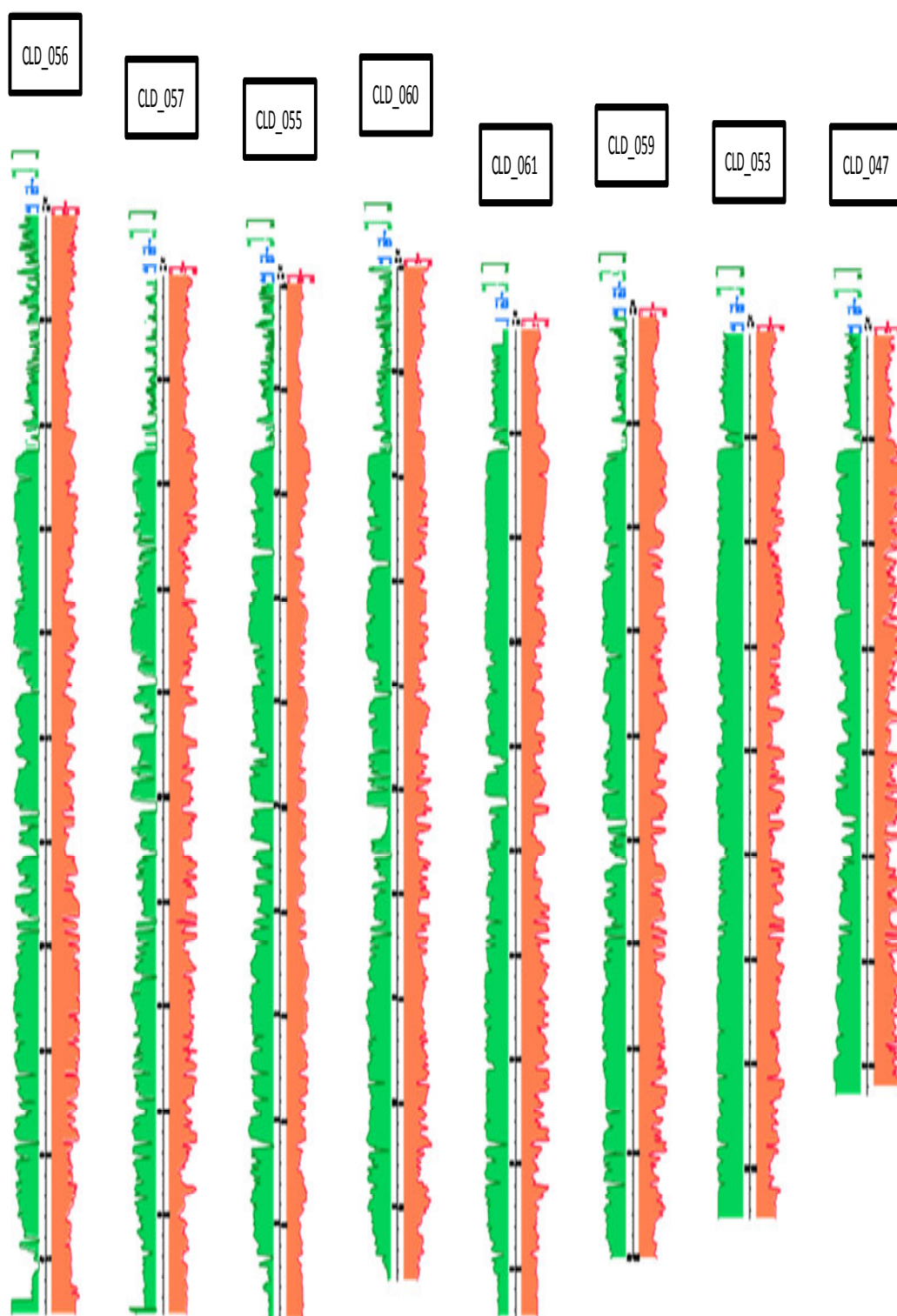


Figura 5.2. Registros de pozo Campo Bloque VIII, el color verde representa el registro de rayos gamma GR y el color anaranjado representa el registro de resistividad profunda RD.

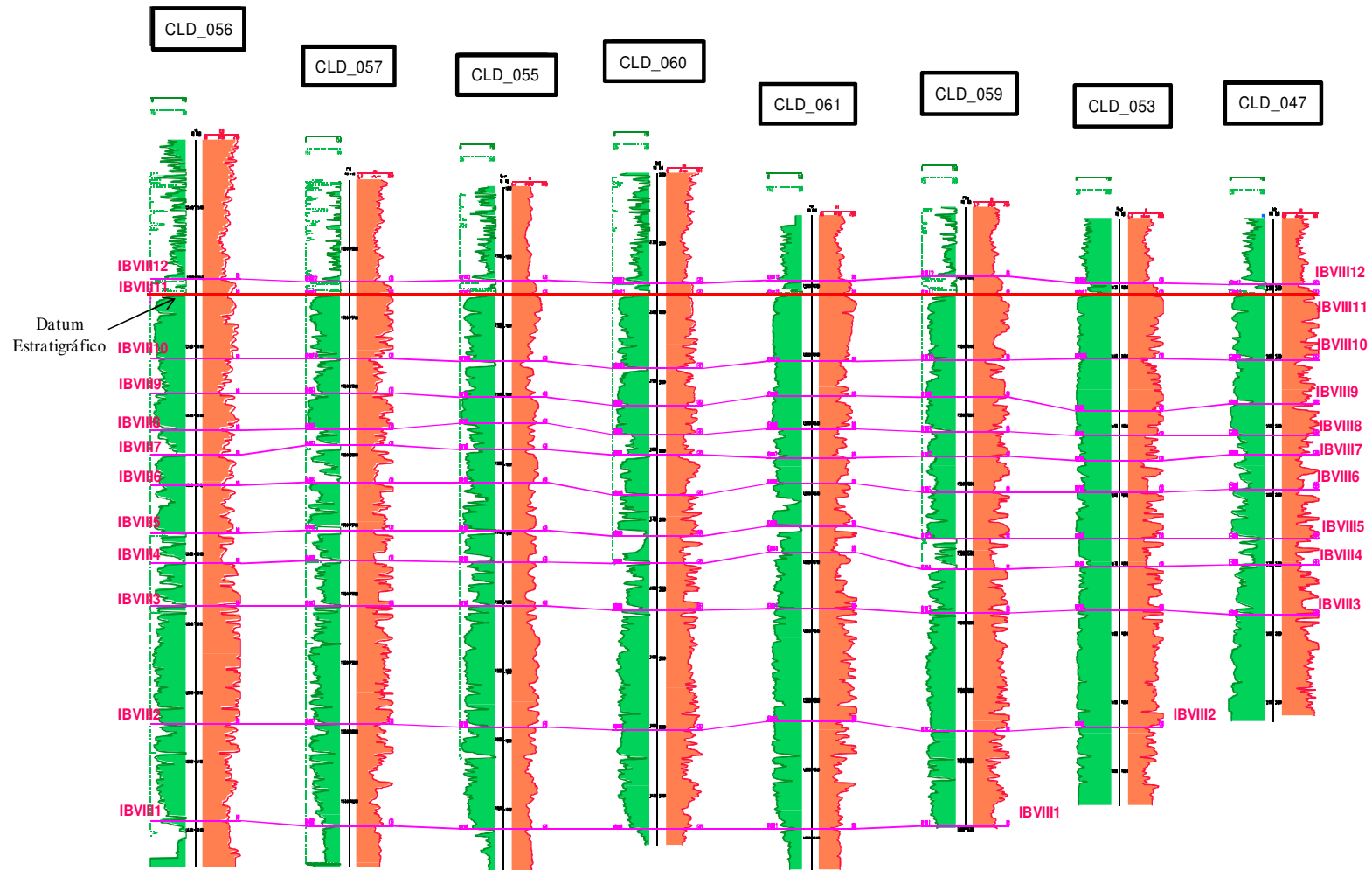


Figura 5.3. Correlación litoestratigráfica realizada aplicando las técnicas convencionales.

Tabla 5.4. Profundidad de los contactos geológicos interpretados en los pozos, aplicando las técnicas convencionales de correlación.

TABLA DE CONTACTOS INTERPRETE BLOQUE VIII						
Pozo	Superficie	Profundidad (Pies)		Pozo	Superficie	Profundidad (Pies)
CLD_047	IBVIII12	15295.98		CLD_057	IBVIII12	15347.72
CLD_047	IBVIII11	15310.77		CLD_057	IBVIII11	15368.33
CLD_047	IBVIII10	15403.79		CLD_057	IBVIII10	15458.71
CLD_047	IBVIII9	15468.09		CLD_057	IBVIII9	15509.45
CLD_047	IBVIII8	15513.81		CLD_057	IBVIII8	15561.77
CLD_047	IBVIII7	15541.92		CLD_057	IBVIII7	15585.56
CLD_047	IBVIII6	15590.27		CLD_057	IBVIII6	15639.47
CLD_047	IBVIII5	15662.79		CLD_057	IBVIII5	15707.65
CLD_047	IBVIII4	15701.24		CLD_057	IBVIII4	15752.45
CLD_047	IBVIII3	15772.34		CLD_057	IBVIII3	15817.06
CLD_053	IBVIII12	15293.14		CLD_057	IBVIII2	15988.31
CLD_053	IBVIII11	15310.87		CLD_057	IBVIII1	16135.01
CLD_053	IBVIII10	15401.89		CLD_059	IBVIII12	15298.56
CLD_053	IBVIII9	15478.01		CLD_059	IBVIII11	15327.10
CLD_053	IBVIII8	15514.26		CLD_059	IBVIII10	15421.06
CLD_053	IBVIII7	15550.52		CLD_059	IBVIII9	15474.16
CLD_053	IBVIII6	15594.73		CLD_059	IBVIII8	15524.62
CLD_053	IBVIII5	15662.89		CLD_059	IBVIII7	15561.32
CLD_053	IBVIII4	15703.55		CLD_059	IBVIII6	15611.78
CLD_053	IBVIII3	15765.60		CLD_059	IBVIII5	15678.33
CLD_053	IBVIII2	15934.77		CLD_059	IBVIII4	15723.23
CLD_055	IBVIII12	15335.03		CLD_059	IBVIII3	15785.39
CLD_055	IBVIII11	15357.23		CLD_059	IBVIII2	15958.86
CLD_055	IBVIII10	15452.37		CLD_059	IBVIII1	16094.78
CLD_055	IBVIII9	15504.69		CLD_060	IBVIII12	15358.39
CLD_055	IBVIII8	15542.75		CLD_060	IBVIII11	15376.51
CLD_055	IBVIII7	15579.22		CLD_060	IBVIII10	15481.64
CLD_055	IBVIII6	15628.37		CLD_060	IBVIII9	15535.02
CLD_055	IBVIII5	15698.14		CLD_060	IBVIII8	15577.15
CLD_055	IBVIII4	15742.54		CLD_060	IBVIII7	15607.76
CLD_055	IBVIII3	15805.96		CLD_060	IBVIII6	15666.10
CLD_055	IBVIII2	15981.97		CLD_060	IBVIII5	15724.95
CLD_055	IBVIII1	16130.14		CLD_060	IBVIII4	15764.74
CLD_056	IBVIII12	15401.63		CLD_060	IBVIII3	15830.85
CLD_056	IBVIII11	15425.41		CLD_060	IBVIII2	16004.86
CLD_056	IBVIII10	15517.75		CLD_060	IBVIII1	16149.65
CLD_056	IBVIII9	15568.12		CLD_061	IBVIII12	15292.22
CLD_056	IBVIII8	15620.44		CLD_061	IBVIII11	15314.42
CLD_056	IBVIII7	15656.91		CLD_061	IBVIII10	15411.14
CLD_056	IBVIII6	15701.24		CLD_061	IBVIII9	15460.77
CLD_056	IBVIII5	15769.85		CLD_061	IBVIII8	15506.28
CLD_056	IBVIII4	15813.01		CLD_061	IBVIII7	15549.09
CLD_056	IBVIII3	15875.18		CLD_061	IBVIII6	15587.15
CLD_056	IBVIII2	16045.39		CLD_061	IBVIII5	15648.98
CLD_056	IBVIII1	16185.00		CLD_061	IBVIII4	15685.45
				CLD_061	IBVIII3	15768.12
				CLD_061	IBVIII2	15931.23
				CLD_061	IBVIII1	16086.25

5.1.3.1 Análisis de *Cluster*:

Se utilizó la aplicación de análisis de *cluster* del programa *MVSP* (*Multivariate Statistical Package*), donde se cargaron los datos de las curvas seleccionadas por cada pozo, luego se aplicó el análisis de *cluster* escogiendo la medida de similaridad y el método de agrupamiento (*clustering*), según se explicó en el capítulo 3, que para este caso de estudio resultaron ser el coeficiente de similaridad de Gower con el método de la Mediana, tal como se observa en los gráficos de la figura 5.4.

De la aplicación del análisis de *cluster* en cada pozo con la medida de similaridad y método de agrupamiento seleccionado se obtiene como resultado un dendograma, el cual fue analizado para determinar los contactos de mayor jerarquía, a fin de reconocer las unidades en las que se divide el registro según este criterio. Este proceso también es conocido como zonación de registros.

Para este caso se consideraron los trece primeros *clusters*, los cuales muestran las menores medidas de similitud y éstos representan los cambios más resaltantes de las respuestas de los registros, buscando obtener doce contactos con la intención de evaluar posteriormente el grado de coincidencia con los contactos obtenidos por las técnicas de correlación convencional.

La figura 5.5 muestra el dendograma donde se resaltan los trece *clusters* identificados para uno de los pozos de este campo de estudio. En la figura 5.6 se muestran los pozos analizados con los contactos obtenidos por esta técnica y la tabla 5.5 muestra las profundidades de estos contactos para cada pozo. Una vez determinados estos contactos se procedió a determinar su equivalencia lateral entre los pozos, obteniendo así una sección de correlación de zonas (figura 5.7) a comparar con la obtenida a partir de técnicas de correlación convencional. En la tabla 5.6 se muestran en orden estratigráfico los nombres de las superficies resultantes de la

POZO	CLD_047 / CLD_053 / CLD_055 / CLD_056 / CLD_057 / CLD_059 / CLD_060 / CLD_061											
MÉTODO	CENTROIDE				MEDIANA				FARTHEST			
SIMILITUD	GOWER	MORISITA'S	PEARSON	SPEARMAN	GOWER	MORISITA'S	PEARSON	SPEARMAN	GOWER	MORISITA'S	PEARSON	SPEARMAN
N° DE VECES QUE APARECE EL TOPE SEGÚN EL MÉTODO Y SEGÚN CADA SIMILITUD												
CONTACTOS	GB_2	7	5	3	4	5	2	3	4	3	3	0
	GB_3	4	4	4	4	6	4	6	5	7	3	0
	GB_5	2	3	4	3	7	4	4	4	5	4	0
	GB_5_2	1	4	5	5	4	4	3	6	2	4	0
	GB_6	4	3	6	3	4	4	2	7	2	7	0
	GB_7	4	3	4	2	3	5	3	4	2	4	0
	GB_7_1	3	3	4	3	2	3	4	4	2	2	0
	GB_8_1	7	3	2	3	6	2	4	3	7	8	0
	GB_9	5	5	3	5	6	4	4	5	7	4	0
	GB_10_2	2	1	0	1	1	0	0	2	3	2	0
	GB_12	3	3	2	4	4	2	2	3	0	1	0
	GB_14	4	1	2	2	3	1	3	2	5	0	0
TOTAL		46	38	39	39	51	35	38	49	44	43	0

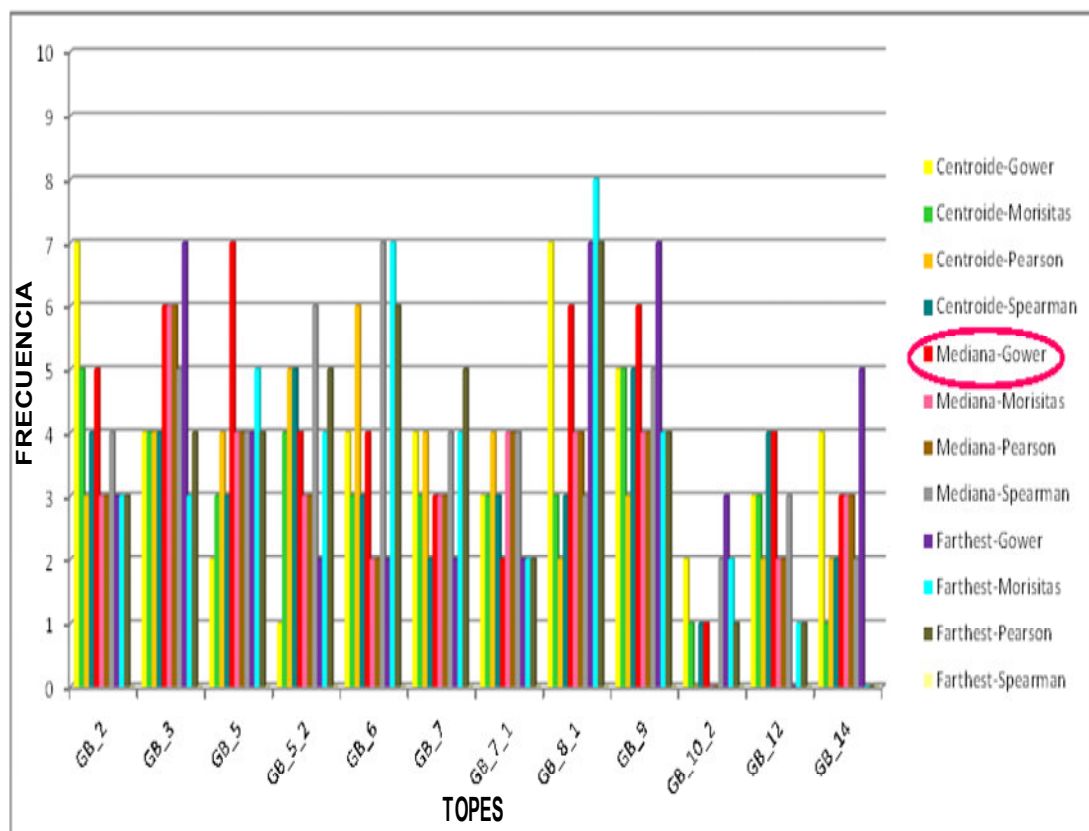


Figura 5.4. Análisis estadístico del Campo Bloque VIII, para la determinación del método y la medida de similitud del proceso de agrupamiento (*clustering*).

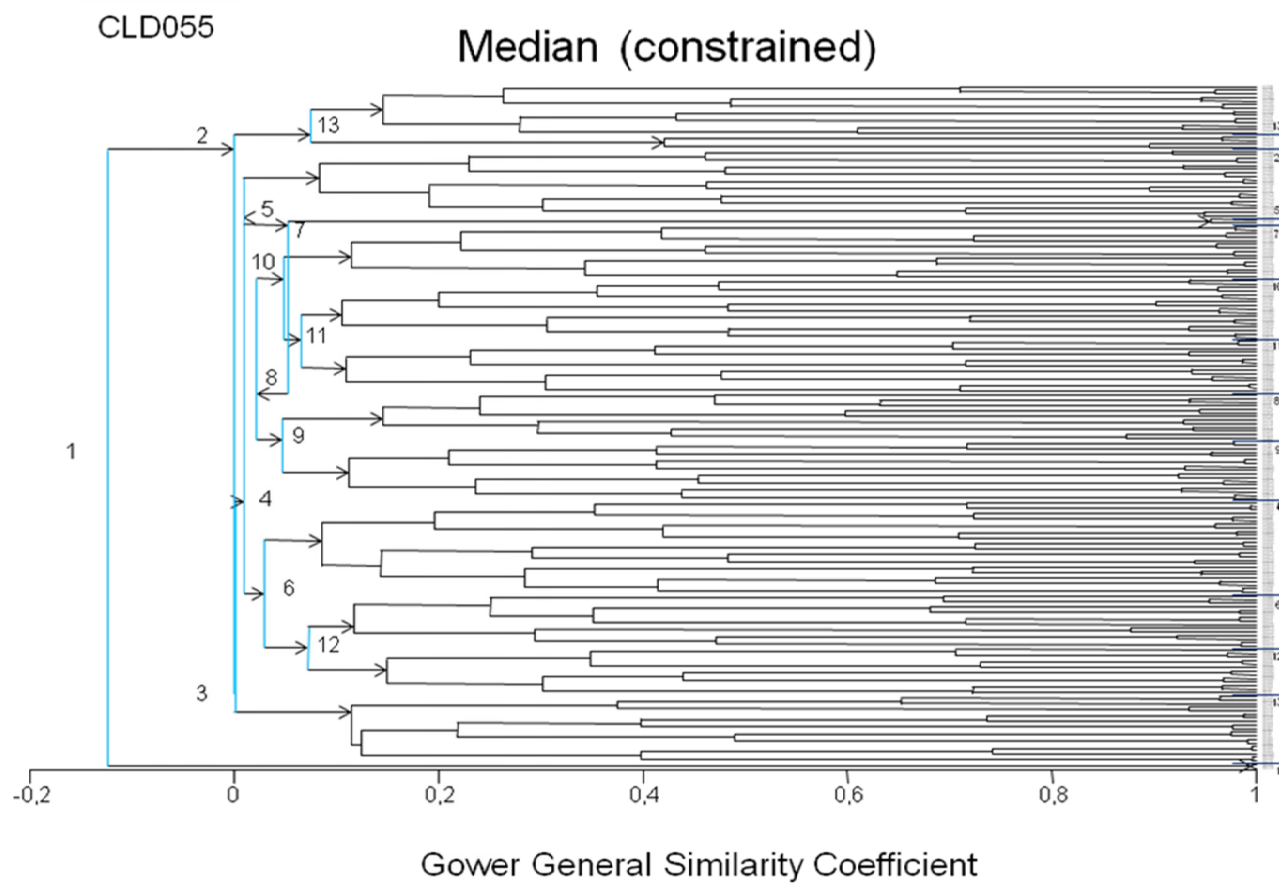


Figura 5.5. Dendrograma con señalamiento de *clusters* principales.

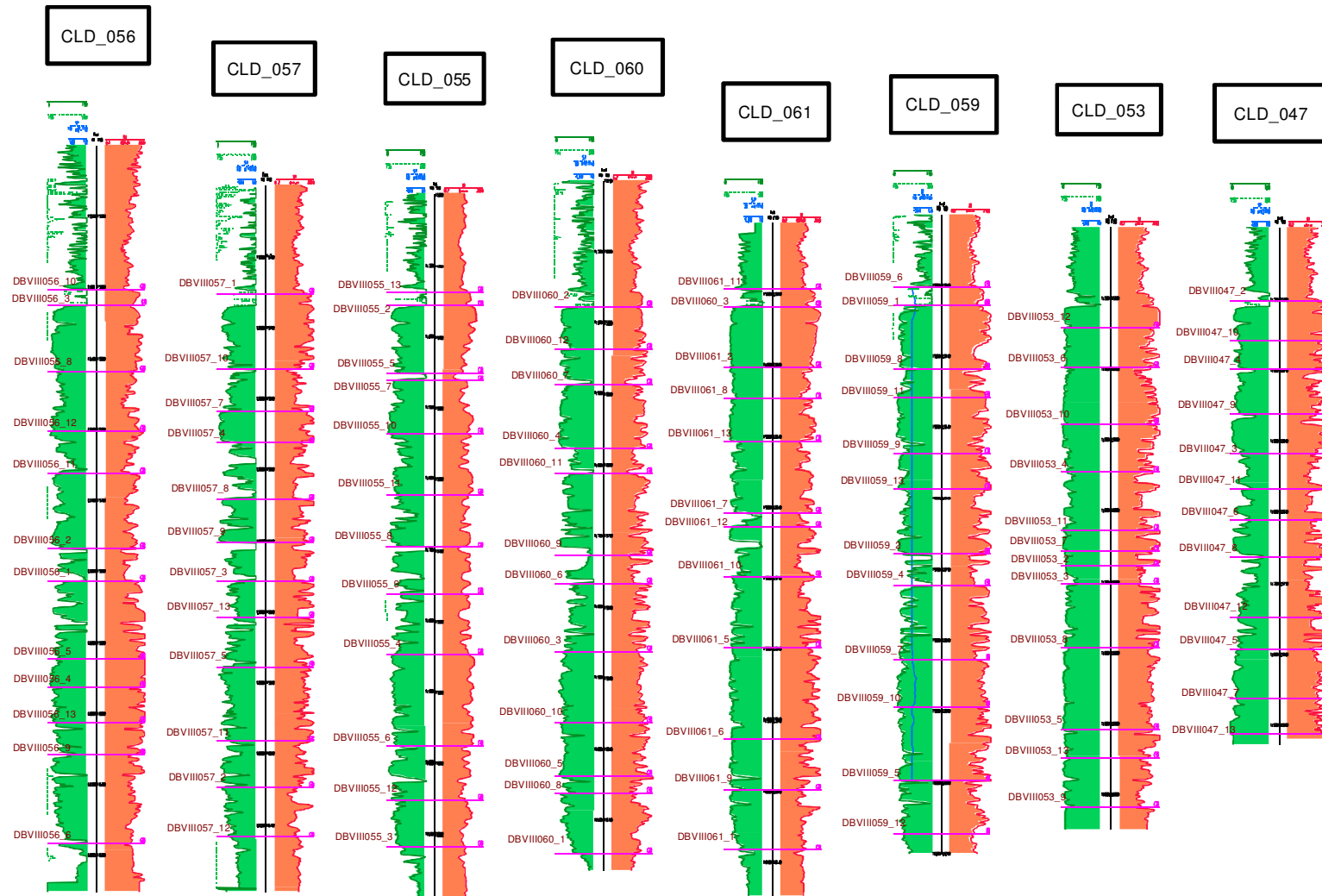


Figura 5.6. Contactos obtenidos por la técnica análisis de *cluster* (dendogramas).

Tabla 5.5. Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir de la técnica análisis de *cluster* (dendogramas).

TABLA DE CONTACTOS ANALISIS DE <i>CLUSTER</i> BLOQUE VIII						
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)		Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
CLD 047	DBVIII047_2	15302.50		CLD 057	DBVIII057_1	15352.50
CLD 047	DBVIII047_10	15357.50		CLD 057	DBVIII057_10	15457.50
CLD 047	DBVIII047_4	15397.50		CLD 057	DBVIII057_7	15517.50
CLD 047	DBVIII047_9	15462.50		CLD 057	DBVIII057_4	15562.50
CLD 047	DBVIII047_3	15517.50		CLD 057	DBVIII057_8	15642.50
CLD 047	DBVIII047_11	15567.50		CLD 057	DBVIII057_9	15702.50
CLD 047	DBVIII047_6	15612.50		CLD 057	DBVIII057_3	15757.50
CLD 047	DBVIII047_8	15662.50		CLD 057	DBVIII057_13	15807.50
CLD 047	DBVIII047_12	15747.50		CLD 057	DBVIII057_5	15877.50
CLD 047	DBVIII047_5	15792.50		CLD 057	DBVIII057_11	15982.50
CLD 047	DBVIII047_7	15862.50		CLD 057	DBVIII057_2	16047.50
CLD 047	DBVIII047_13	15912.50		CLD 057	DBVIII057_12	16117.50
CLD 053	DBVIII053_12	15342.50		CLD 059	DBVIII059_6	15302.50
CLD 053	DBVIII053_6	15397.50		CLD 059	DBVIII059_1	15327.50
CLD 053	DBVIII053_10	15477.50		CLD 059	DBVIII059_8	15417.50
CLD 053	DBVIII053_4	15545.50		CLD 059	DBVIII059_11	15457.50
CLD 053	DBVIII053_11	15627.50		CLD 059	DBVIII059_9	15537.50
CLD 053	DBVIII053_7	15657.50		CLD 059	DBVIII059_13	15587.50
CLD 053	DBVIII053_2	15678.50		CLD 059	DBVIII059_2	15677.50
CLD 053	DBVIII053_3	15702.50		CLD 059	DBVIII059_4	15722.50
CLD 053	DBVIII053_8	15792.50		CLD 059	DBVIII059_7	15827.50
CLD 053	DBVIII053_5	15907.50		CLD 059	DBVIII059_10	15892.50
CLD 053	DBVIII053_13	15947.50		CLD 059	DBVIII059_5	15997.50
CLD 053	DBVIII053_9	16017.50		CLD 059	DBVIII059_12	16072.50
CLD 055	DBVIII055_13	15337.50		CLD 060	DBVIII060_2	15377.50
CLD 055	DBVIII055_2	15357.50		CLD 060	DBVIII060_12	15437.50
CLD 055	DBVIII055_5	15452.50		CLD 060	DBVIII060_7	15487.50
CLD 055	DBVIII055_7	15462.50		CLD 060	DBVIII060_4	15577.50
CLD 055	DBVIII055_10	15537.50		CLD 060	DBVIII060_11	15612.50
CLD 055	DBVIII055_11	15622.50		CLD 060	DBVIII060_9	15727.50
CLD 055	DBVIII055_8	15697.50		CLD 060	DBVIII060_6	15767.50
CLD 055	DBVIII055_9	15762.50		CLD 060	DBVIII060_3	15862.50
CLD 055	DBVIII055_4	15847.50		CLD 060	DBVIII060_10	15962.50
CLD 055	DBVIII055_6	15977.50		CLD 060	DBVIII060_5	16037.50
CLD 055	DBVIII055_12	16052.50		CLD 060	DBVIII060_8	16062.50
CLD 055	DBVIII055_3	16117.50		CLD 060	DBVIII060_1	16147.50
CLD 056	DBVIII056_10	15402.50		CLD 061	DBVIII061_11	15292.50
CLD 056	DBVIII056_3	15427.50		CLD 061	DBVIII061_3	15317.50
CLD 056	DBVIII056_8	15517.50		CLD 061	DBVIII061_2	15402.50
CLD 056	DBVIII056_12	15602.50		CLD 061	DBVIII061_8	15447.50
CLD 056	DBVIII056_11	15662.50		CLD 061	DBVIII061_13	15507.50
CLD 056	DBVIII056_2	15767.50		CLD 061	DBVIII061_7	15607.50
CLD 056	DBVIII056_1	15812.50		CLD 061	DBVIII061_12	15627.50
CLD 056	DBVIII056_5	15922.50		CLD 061	DBVIII061_10	15697.50
CLD 056	DBVIII056_4	15962.50		CLD 061	DBVIII061_5	15797.50
CLD 056	DBVIII056_13	16012.50		CLD 061	DBVIII061_6	15927.50
CLD 056	DBVIII056_9	16057.50		CLD 061	DBVIII061_9	15997.50
CLD 056	DBVIII056_1	16182.50		CLD 061	DBVIII061_1	16082.50

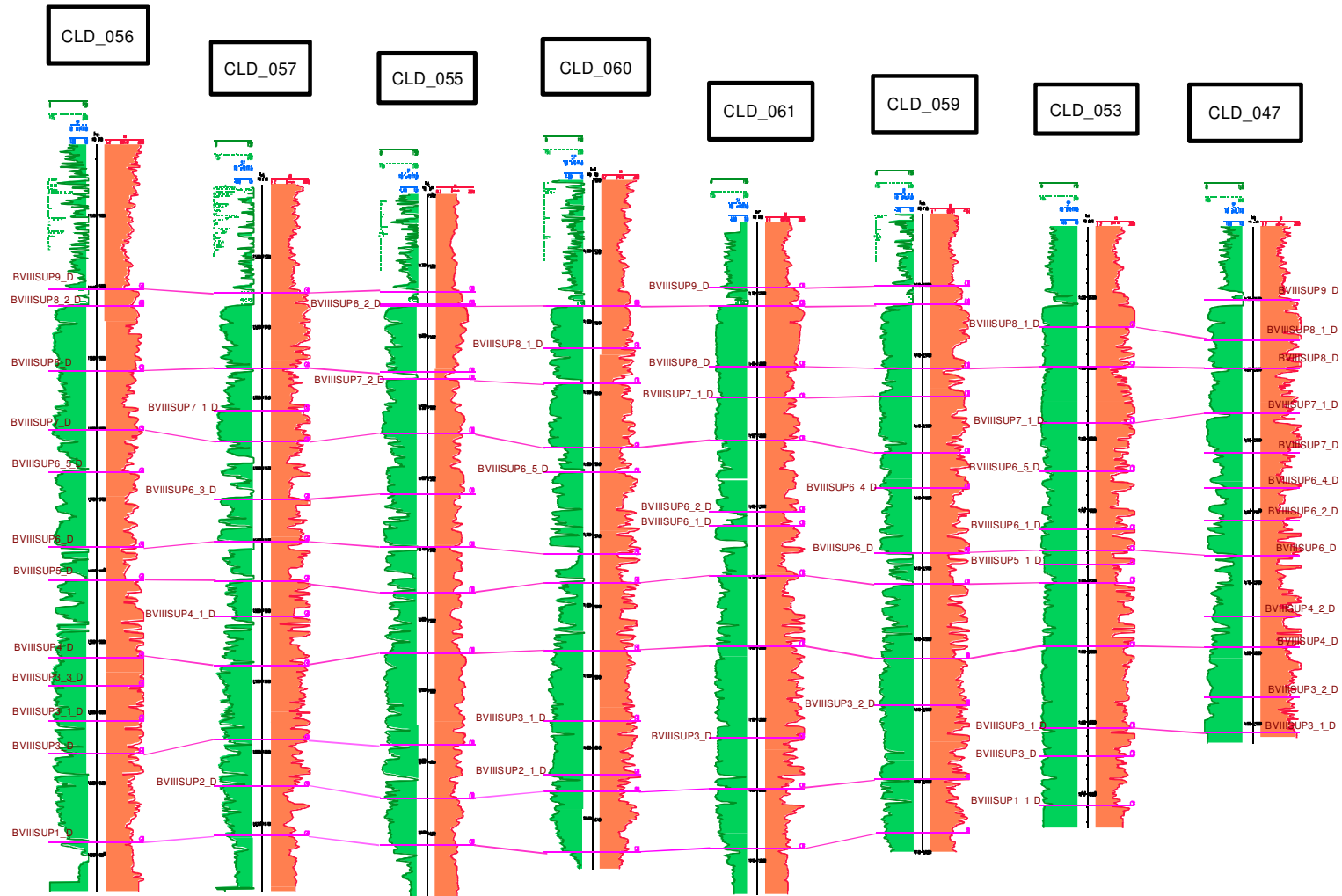


Figura 5.7. Correlación de contactos determinados mediante la técnica análisis de *cluster* (dendogramas).

Tabla 5.6. Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de *clusters* (dendogramas), Campo Bloque VIII.

Superficies por Clusters	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
BVIIIISUP9 D	DBVIII056_10	DBVIII057_1	DBVIII055_13		DBVIII061_11	DBVIII059_6		DBVIII047_2
BVIIIISUP8 2 D	DBVIII056_3		DBVIII055_2	DBVIII060_2	DBVIII061_3	DBVIII059_1		
BVIIIISUP8 1 D				DBVIII060_12			DBVIII053_12	DBVIII047_10
BVIIIISUP8 D	DBVIII056_8	DBVIII057_10	DBVIII055_5	DBVIII060_7	DBVIII061_2	DBVIII059_8	DBVIII053_6	DBVIII047_4
BVIIIISUP7 2 D			DBVIII055_7					
BVIIIISUP7 1 D		DBVIII057_7			DBVIII061_8	DBVIII059_11	DBVIII053_10	DBVIII047_9
BVIIIISUP7 D	DBVIII056_12	DBVIII057_4	DBVIII055_10	DBVIII060_4	DBVIII061_13	DBVIII059_9		DBVIII047_3
BVIIIISUP6 5 D	DBVIII056_11			DBVIII060_11			DBVIII053_4	
BVIIIISUP6 4 D						DBVIII059_13		DBVIII047_11
BVIIIISUP6 3 D		DBVIII057_8	DBVIII055_11					
BVIIIISUP6 2 D					DBVIII061_7			DBVIII047_6
BVIIIISUP6 1 D					DBVIII061_12		DBVIII053_11	
BVIIIISUP6 D	DBVIII056_2	DBVIII057_9	DBVIII055_8	DBVIII060_9		DBVIII059_2	DBVIII053_7	DBVIII047_8
BVIIIISUP5 1 D							DBVIII053_2	
BVIIIISUP5 D	DBVIII056_1	DBVIII057_3	DBVIII055_9	DBVIII060_6	DBVIII061_10	DBVIII059_4	DBVIII053_3	
BVIIIISUP4 2 D								DBVIII047_12
BVIIIISUP4 1 D		DBVIII057_13						
BVIIIISUP4 D	DBVIII056_5	DBVIII057_5	DBVIII055_4	DBVIII060_3	DBVIII061_5	DBVIII059_7	DBVIII053_8	DBVIII047_5
BVIIIISUP3 3 D	DBVIII056_4							
BVIIIISUP3 2 D						DBVIII059_10		DBVIII047_7
BVIIIISUP3 1 D	DBVIII056_13			DBVIII060_10			DBVIII053_5	DBVIII047_13
BVIIIISUP3 D	DBVIII056_9	DBVIII057_11	DBVIII055_6		DBVIII061_6		DBVIII053_13	
BVIIIISUP2 1 D				DBVIII060_5				
BVIIIISUP2 D		DBVIII057_2	DBVIII055_12	DBVIII060_8	DBVIII061_9	DBVIII059_5		
BVIIIISUP1 1 D							DBVIII053_9	
BVIIIISUP1 D	DBVIII056_6	DBVIII057_12	DBVIII055_3	DBVIII060_1	DBVIII061_1	DBVIII059_12		

correlación de zonas y los contactos que las componen, donde las casillas en blanco representan aquellos puntos, donde la técnica no encontró un contacto equivalente a la superficie y las de color negro representan aquellos marcadores no detectados ni por la técnica ni por la intérprete, debido a que el registro termina en una profundidad menor que la de los registros de los otros pozos y por lo tanto, no cubre esas superficies.

5.1.3.2 Análisis de la Varianza:

Para la zonación de registros por el método de la varianza, se implementó la

técnica de ANOVA, donde se realizan cálculos de varianza para dividir los datos del registro en zonas, cuya varianza interna sea la menor, y la varianza entre ellas sea la mayor. Este análisis se llevó a cabo mediante la corrida de una rutina de programación para la zonación de registros, elaborada e implementada en PDVSA Intevep, llamada INLASPro.

Luego de cargar los datos de la curva de PCA1, anteriormente generada, se procedió a indicar un número determinado de trece zonas, esto siguiendo el criterio de zonas y contactos explicado anteriormente, obteniendo como resultado las profundidades de los doce principales contactos según sea la magnitud de la diferencia entre las varianzas. Al igual que con la técnica anterior estos resultados se compararán con los obtenidos por las técnicas de correlación convencional.

Los pozos de estudio con los contactos obtenidos por el análisis de la varianza se muestran en la figura 5.8. En la tabla 5.7 se muestran las profundidades de estos contactos resultantes para cada pozo; luego se determinó la relación o equivalencia lateral de estos contactos entre los pozos, dando así una sección de correlación de zonas o secuencias (figura 5.9) a comparar con la sección resultante de la utilización de las técnicas convencionales de correlación. Además, se muestra la tabla 5.8, la cual representa las superficies resultantes de la correlación de zonas en orden estratigráfico, especificando los contactos que componen a cada una de estas superficies. Las casillas en blanco constituyen aquellos marcadores que la técnica no detectó y las casillas en negro los que ni la intérprete ni la técnica detectaron, debido a al límite de tamaño en profundidad del registro.

Figura 5.8. Contactos obtenidos por la técnica análisis de la varianza.

Tabla 5.7. Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir de la técnica análisis de la varianza.

TABLA DE CONTACTOS ANALISIS DE LA VARIANZA BLOQUE VIII						
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)		Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
CLD_047	VBVIII047_2	15303.50		CLD_057	VBVIII057_1	15349.50
CLD_047	VBVIII047_10	15321.50		CLD_057	VBVIII057_4	15446.50
CLD_047	VBVIII047_1	15347.00		CLD_057	VBVIII057_9	15458.00
CLD_047	VBVIII047_3	15397.50		CLD_057	VBVIII057_10	15463.50
CLD_047	VBVIII047_9	15471.50		CLD_057	VBVIII057_6	15477.00
CLD_047	VBVIII047_8	15478.00		CLD_057	VBVIII057_11	15611.50
CLD_047	VBVIII047_6	15530.00		CLD_057	VBVIII057_12	15641.00
CLD_047	VBVIII047_7	15631.50		CLD_057	VBVIII057_5	15740.00
CLD_047	VBVIII047_5	15664.50		CLD_057	VBVIII057_3	15757.00
CLD_047	VBVIII047_12	15682.50		CLD_057	VBVIII057_2	16031.00
CLD_047	VBVIII047_11	15707.00		CLD_057	VBVIII057_7	16067.50
CLD_047	VBVIII047_4	15719.50		CLD_057	VBVIII057_8	16080.00
CLD_053	VBVIII053_1	15295.50		CLD_059	VBVIII059_1	15302.50
CLD_053	VBVIII053_15	15511.50		CLD_059	VBVIII059_4	15335.50
CLD_053	VBVIII053_3	15547.50		CLD_059	VBVIII059_3	15384.50
CLD_053	VBVIII053_7	15558.00		CLD_059	VBVIII059_12	15420.00
CLD_053	VBVIII053_8	15571.00		CLD_059	VBVIII059_11	15448.50
CLD_053	VBVIII053_14	15594.00		CLD_059	VBVIII059_8	15678.50
CLD_053	VBVIII053_5	15597.50		CLD_059	VBVIII059_9	15723.00
CLD_053	VBVIII053_4	15659.50		CLD_059	VBVIII059_10	15776.00
CLD_053	VBVIII053_6	15667.00		CLD_059	VBVIII059_7	15828.50
CLD_053	VBVIII053_9	15675.00		CLD_059	VBVIII059_5	15993.00
CLD_053	VBVIII053_2	15706.50		CLD_059	VBVIII059_6	16017.50
CLD_053	VBVIII053_11	15933.50		CLD_059	VBVIII059_2	16102.00
CLD_055	VBVIII055_3	15341.50		CLD_060	VBVIII060_3	15359.50
CLD_055	VBVIII055_11	15358.00		CLD_060	VBVIII060_12	15576.50
CLD_055	VBVIII055_5	15412.50		CLD_060	VBVIII060_11	15703.00
CLD_055	VBVIII055_8	15451.50		CLD_060	VBVIII060_6	15725.50
CLD_055	VBVIII055_7	15468.50		CLD_060	VBVIII060_7	15733.50
CLD_055	VBVIII055_10	15592.50		CLD_060	VBVIII060_8	15740.50
CLD_055	VBVIII055_9	15636.50		CLD_060	VBVIII060_5	15768.00
CLD_055	VBVIII055_4	15847.00		CLD_060	VBVIII060_2	16010.00
CLD_055	VBVIII055_2	16015.50		CLD_060	VBVIII060_10	16043.00
CLD_055	VBVIII055_13	16023.00		CLD_060	VBVIII060_1	16083.50
CLD_055	VBVIII055_12	16055.50		CLD_060	VBVIII060_9	16108.00
CLD_055	VBVIII055_1	16075.00		CLD_060	VBVIII060_4	16146.50
CLD_056	VBVIII056_2	15405.00		CLD_061	VBVIII061_2	15292.50
CLD_056	VBVIII056_4	15640.50		CLD_061	VBVIII061_5	15505.00
CLD_056	VBVIII056_12	15662.50		CLD_061	VBVIII061_13	15522.00
CLD_056	VBVIII056_11	15784.50		CLD_061	VBVIII061_4	15746.50
CLD_056	VBVIII056_10	15813.50		CLD_061	VBVIII061_1	15873.50
CLD_056	VBVIII056_1	15839.00		CLD_061	VBVIII061_3	15931.00
CLD_056	VBVIII056_6	15871.00		CLD_061	VBVIII061_10	15966.50
CLD_056	VBVIII056_9	15875.00		CLD_061	VBVIII061_9	15978.50
CLD_056	VBVIII056_5	15887.50		CLD_061	VBVIII061_11	15983.00
CLD_056	VBVIII056_8	15923.50		CLD_061	VBVIII061_8	16021.00
CLD_056	VBVIII056_7	15984.00		CLD_061	VBVIII061_12	16034.00
CLD_056	VBVIII056_3	16057.50		CLD_061	VBVIII061_7	16083.50

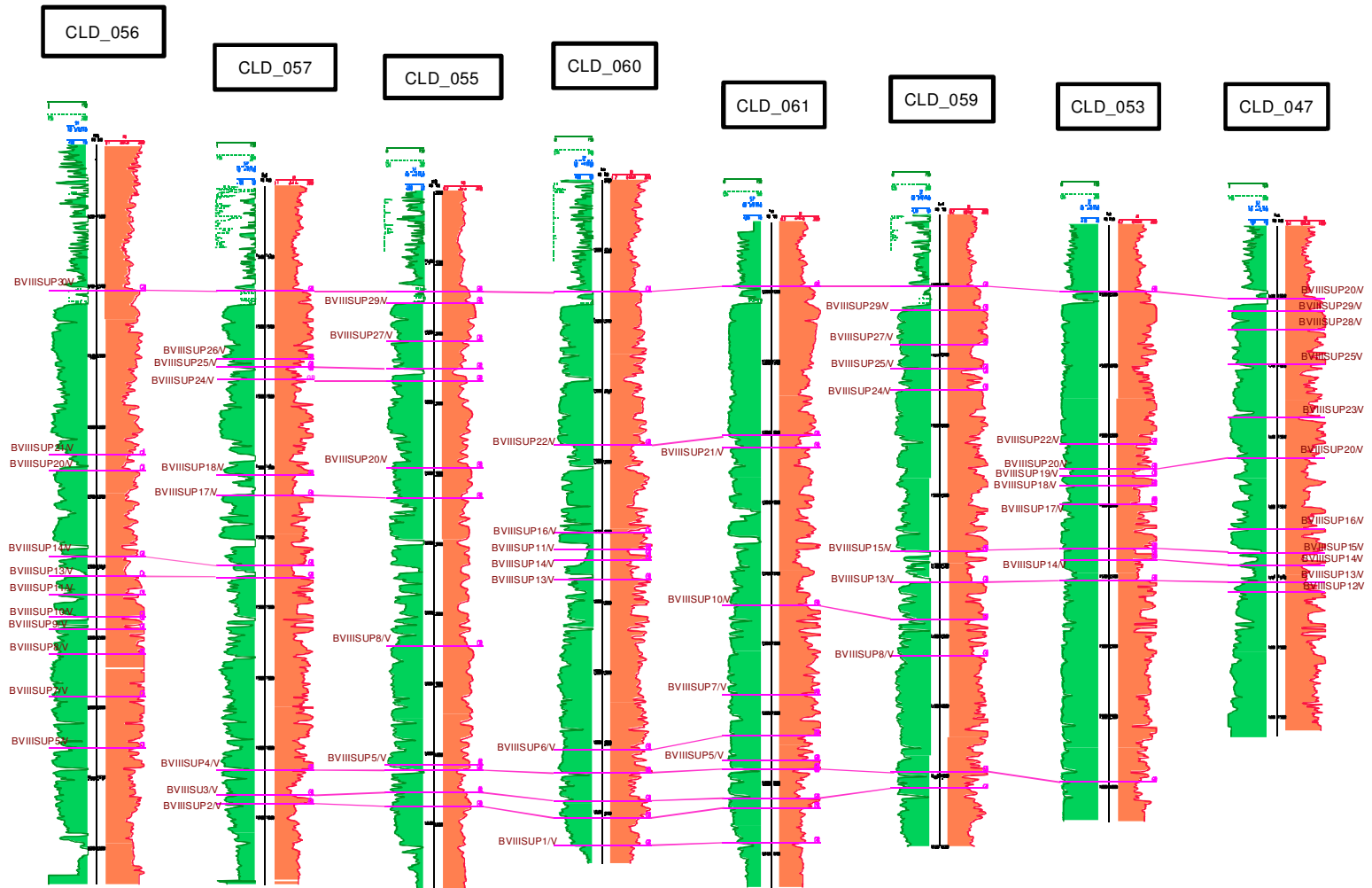


Figura 5.9. Correlación de contactos determinada mediante la técnica análisis de la varianza.

Tabla 5.8. Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de la varianza,
Campo Bloque VIII.

Superficies por Varianza	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
BVIIIISUP30/V	VBVIII056_2	VBVIII057_1	VBVIII055_3	VBVIII060_3	VBVIII061_2	VBVIII059_1	VBVIII053_1	VBVIII047_2
BVIIIISUP29/V			VBVIII055_11			VBVIII059_4		VBVIII047_10
BVIIIISUP28/V								VBVIII047_1
BVIIIISUP27/V			VBVIII055_5			VBVIII059_3		
BVIIIISUP26/V		VBVIII057_4						
BVIIIISUP25/V		VBVIII057_9	VBVIII055_8			VBVIII059_13		VBVIII047_3
BVIIIISUP24/V		VBVIII057_6	VBVIII055_7			VBVIII059_11		
BVIIIISUP23/V								VBVIII047_8
BVIIIISUP22/V				VBVIII060_13	VBVIII061_5		VBVIII053_15	
BVIIIISUP21/V	VBVIII056_4				VBVIII061_13			
BVIIIISUP20/V	VBVIII056_12		VBVIII055_10				VBVIII053_3	VBVIII047_6
BVIIIISUP19/V							VBVIII053_7	
BVIIIISUP18/V		VBVIII057_11					VBVIII053_8	
BVIIIISUP17/V		VBVIII057_12	VBVIII055_9				VBVIII053_5	
BVIIIISUP16/V				VBVIII060_12				VBVIII047_7
BVIIIISUP15/V				VBVIII060_6		VBVIII059_8	VBVIII053_4	VBVIII047_5
BVIIIISUP14/V	VBVIII056_11	VBVIII057_3		VBVIII060_8			VBVIII053_9	VBVIII047_12
BVIIIISUP13/V	VBVIII056_10	VBVIII057_5		VBVIII060_5		VBVIII059_9	VBVIII053_2	VBVIII047_11
BVIIIISUP12/V								VBVIII047_4
BVIIIISUP11/V	VBVIII056_1							
BVIIIISUP10/V	VBVIII056_6				VBVIII061_4	VBVIII059_10		
BVIIIISUP9/V	VBVIII056_5							
BVIIIISUP8/V	VBVIII056_8		VBVIII055_4			VBVIII059_7		
BVIIIISUP7/V	VBVIII056_7				VBVIII061_1			
BVIIIISUP6/V				VBVIII060_2	VBVIII061_3			
BVIIIISUP5/V	VBVIII056_3		VBVIII055_2		VBVIII061_10			
BVIIIISUP4/V		VBVIII057_2	VBVIII055_13	VBVIII060_10	VBVIII061_9	VBVIII059_5	VBVIII053_11	
BVIIIISUP3/V		VBVIII057_7	VBVIII055_12	VBVIII060_1	VBVIII061_8	VBVIII059_6		
BVIIIISUP2/V		VBVIII057_8	VBVIII055_1	VBVIII060_9	VBVIII061_12			
BVIIIISUP1/V				VBVIII060_4	VBVIII061_7			

5.1.3.3 Método de Análisis Geométrico

A través del programa INLASPro, la zonación de registros por análisis geométrico de las curvas, se realizó cargando los datos de la curva PCA1, al igual que en la técnica de análisis de la varianza, posteriormente se ajustaron los parámetros correspondientes para la aplicación de la subrutina en función de las características del campo objeto de estudio, a fin de obtener el número de contactos previamente determinado (doce) que representarían las posibles secuencias identificadas en el registro tipo.

En la figura 5.10 se muestran los contactos por pozo obtenidos con este análisis, a su vez en la tabla 5.9 se observan las profundidades de estos contactos en cada pozo. Posteriormente se procedió a determinar la correspondencia lateral de estos contactos entre los pozos, obteniendo de esta manera una sección de correlación (figura 5.11) y una tabla de superficies con la equivalencia de contactos (tabla 5.10), la cual representa en orden estratigráfico las superficies correlacionadas a partir de los contactos obtenidos por el método, mostrando cada uno de los contactos que las conforman, donde las casillas de color blanco son los contactos que el método no detectó para esas superficies y las casillas negras son aquellos contactos que no pudieron ser determinados ni por el método ni por la intérprete, ya que el registro correspondiente no cubre esas superficies.

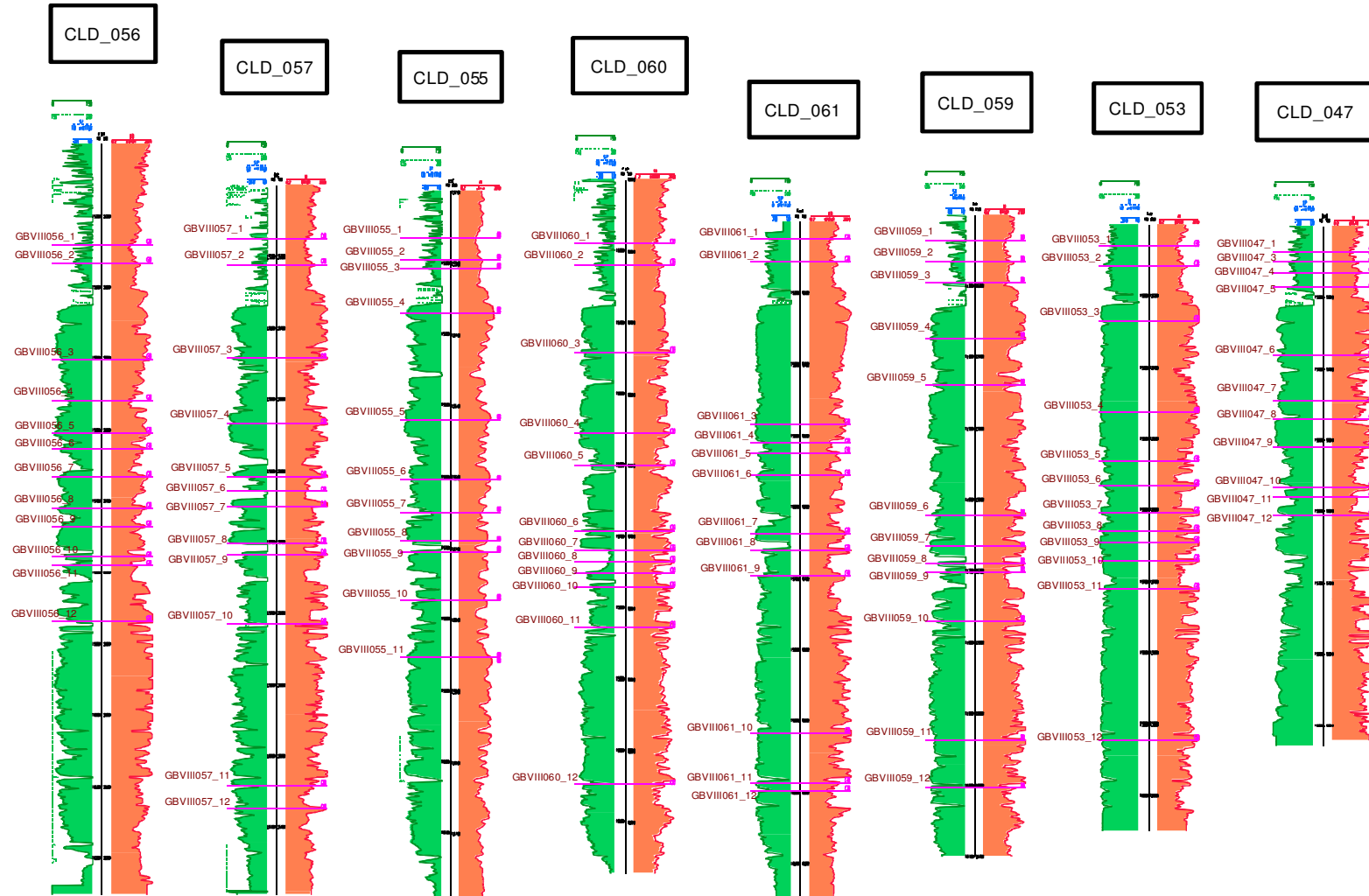


Figura 5.10. Contactos obtenidos por el método de análisis geométrico.

Tabla 5.9. Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir del método de análisis geométrico.

TABLA DE CONTACTOS ANALISIS GEOMÉTRICO_BLOQUE VIII						
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)		Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
CLD_047	GBVIII047_1	15235.00		CLD_057	GBVIII057_1	15275.00
CLD_047	GBVIII047_2	15241.50		CLD_057	GBVIII057_2	15310.50
CLD_047	GBVIII047_3	15250.50		CLD_057	GBVIII057_3	15442.50
CLD_047	GBVIII047_4	15265.00		CLD_057	GBVIII057_4	15534.00
CLD_047	GBVIII047_5	15286.50		CLD_057	GBVIII057_5	15608.50
CLD_047	GBVIII047_6	15381.00		CLD_057	GBVIII057_6	15629.50
CLD_047	GBVIII047_7	15445.00		CLD_057	GBVIII057_7	15650.00
CLD_047	GBVIII047_8	15470.00		CLD_057	GBVIII057_8	15702.00
CLD_047	GBVIII047_9	15509.00		CLD_057	GBVIII057_9	15717.50
CLD_047	GBVIII047_10	15564.50		CLD_057	GBVIII057_10	15814.50
CLD_047	GBVIII047_11	15580.00		CLD_057	GBVIII057_11	16041.50
CLD_047	GBVIII047_12	15605.00		CLD_057	GBVIII057_12	16074.00
CLD_053	GBVIII053_1	15230.00		CLD_059	GBVIII059_1	15235.50
CLD_053	GBVIII053_2	15258.00		CLD_059	GBVIII059_2	15266.00
CLD_053	GBVIII053_3	15335.50		CLD_059	GBVIII059_3	15295.00
CLD_053	GBVIII053_4	15462.50		CLD_059	GBVIII059_4	15372.50
CLD_053	GBVIII053_5	15531.50		CLD_059	GBVIII059_5	15438.00
CLD_053	GBVIII053_6	15565.50		CLD_059	GBVIII059_6	15620.50
CLD_053	GBVIII053_7	15603.00		CLD_059	GBVIII059_7	15666.00
CLD_053	GBVIII053_8	15629.50		CLD_059	GBVIII059_8	15689.00
CLD_053	GBVIII053_9	15644.50		CLD_059	GBVIII059_9	15701.00
CLD_053	GBVIII053_10	15670.50		CLD_059	GBVIII059_10	15770.00
CLD_053	GBVIII053_11	15710.50		CLD_059	GBVIII059_11	15937.00
CLD_053	GBVIII053_12	15922.50		CLD_059	GBVIII059_12	16003.50
CLD_055	GBVIII055_1	15265.00		CLD_060	GBVIII060_1	15290.00
CLD_055	GBVIII055_2	15296.00		CLD_060	GBVIII060_2	15319.00
CLD_055	GBVIII055_3	15309.00		CLD_060	GBVIII060_3	15442.00
CLD_055	GBVIII055_4	15370.50		CLD_060	GBVIII060_4	15556.00
CLD_055	GBVIII055_5	15520.50		CLD_060	GBVIII060_5	15600.50
CLD_055	GBVIII055_6	15605.50		CLD_060	GBVIII060_6	15691.50
CLD_055	GBVIII053_7	15649.50		CLD_060	GBVIII060_7	15719.50
CLD_055	GBVIII055_8	15690.50		CLD_060	GBVIII060_18	15736.00
CLD_055	GBVIII055_9	15706.00		CLD_060	GBVIII060_9	15751.00
CLD_055	GBVIII055_10	15773.50		CLD_060	GBVIII060_10	15771.50
CLD_055	GBVIII055_11	15853.50		CLD_060	GBVIII060_11	15827.50
CLD_055	GBVIII055_12	15862.00		CLD_060	GBVIII060_12	16048.50
CLD_056	GBVIII056_1	15340.00		CLD_061	GBVIII061_1	15225.00
CLD_056	GBVIII056_2	15365.00		CLD_061	GBVIII061_2	15256.50
CLD_056	GBVIII056_3	15501.50		CLD_061	GBVIII061_3	15484.00
CLD_056	GBVIII056_4	15558.00		CLD_061	GBVIII061_4	15511.00
CLD_056	GBVIII056_5	15604.00		CLD_061	GBVIII061_5	15524.00
CLD_056	GBVIII056_6	15626.00		CLD_061	GBVIII061_6	15555.50
CLD_056	GBVIII056_7	15666.50		CLD_061	GBVIII061_7	15636.50
CLD_056	GBVIII056_8	15710.00		CLD_061	GBVIII061_18	15660.00
CLD_056	GBVIII056_9	15735.00		CLD_061	GBVIII061_9	15696.50
CLD_056	GBVIII056_10	15778.00		CLD_061	GBVIII061_10	15916.50
CLD_056	GBVIII056_11	15790.00		CLD_061	GBVIII061_11	15986.50
CLD_056	GBVIII056_12	15868.00		CLD_061	GBVIII061_12	15999.00

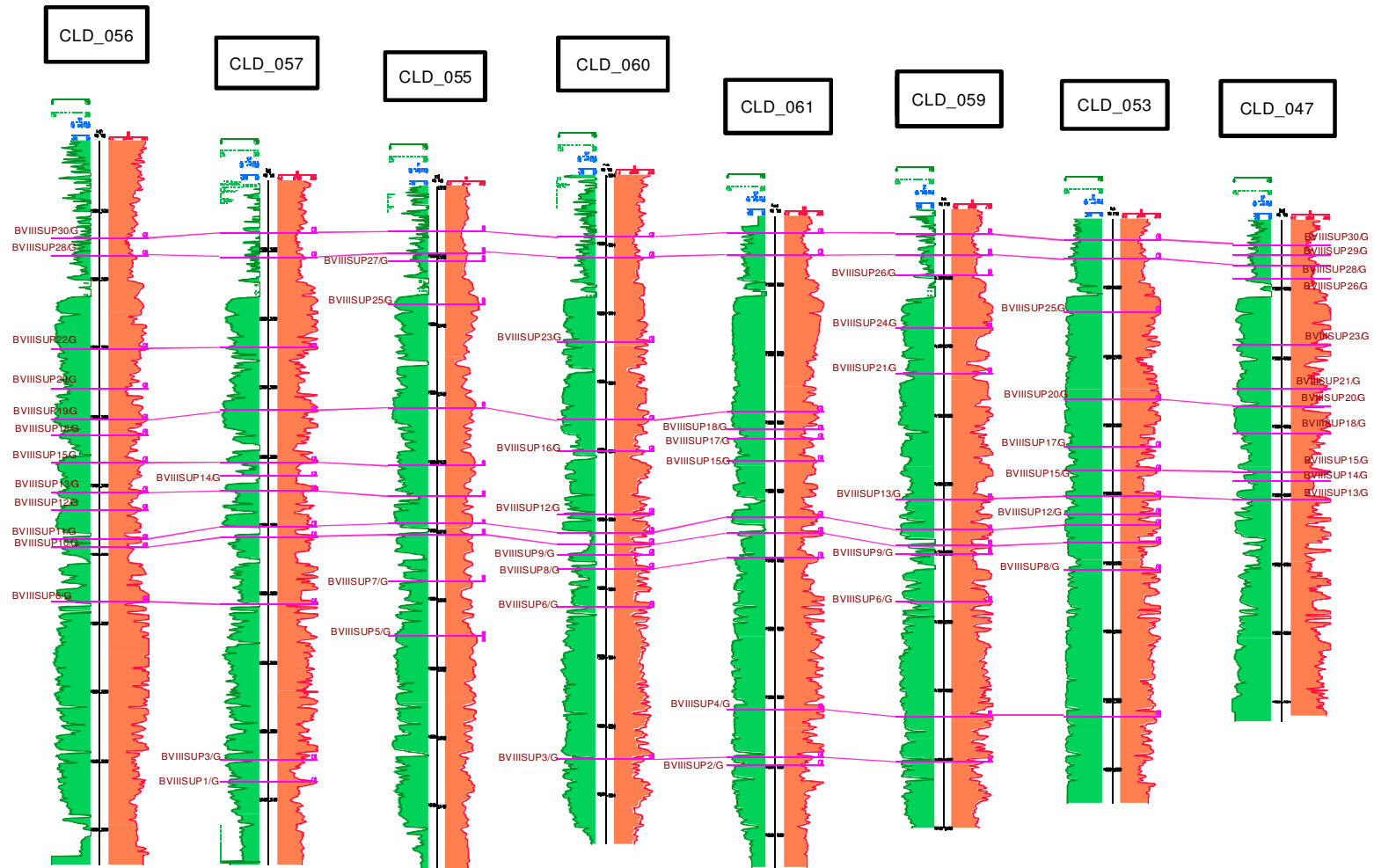


Figura 5.11. Correlación de contactos determinada mediante el método de análisis geométrico.

Tabla 5.10. Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis geométrico,
Campo Bloque VIII.

Superficies por Geométrico	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
BVIIIISUP30/G	GBVIII056_1	GBVIII057_1	GBVIII055_1	GBVIII060_1	GBVIII061_1	GBVIII059_1	GBVIII053_1	GBVIII047_1
BVIIIISUP29/G								GBVIII047_3
BVIIIISUP28/G	GBVIII056_2	GBVIII057_2	GBVIII055_2	GBVIII060_2	GBVIII061_2	GBVIII059_2	GBVIII053_2	GBVIII047_4
BVIIIISUP27/G			GBVIII055_3					
BVIIIISUP26/G						GBVIII059_3		GBVIII047_5
BVIIIISUP25/G			GBVIII055_4				GBVIII053_3	
BVIIIISUP24/G						GBVIII059_4		
BVIIIISUP23/G				GBVIII060_3				GBVIII047_6
BVIIIISUP22/G	GBVIII056_3	GBVIII057_3						
BVIIIISUP21/G						GBVIII059_5		GBVIII047_7
BVIIIISUP20/G	GBVIII056_4						GBVIII053_4	GBVIII047_8
BVIIIISUP19/G	GBVIII056_5	GBVIII057_4	GBVIII055_5	GBVIII060_4	GBVIII061_3			
BVIIIISUP18/G	GBVIII056_6				GBVIII061_4			GBVIII047_9
BVIIIISUP17/G					GBVIII061_5		GBVIII053_5	
BVIIIISUP16/G				GBVIII060_5				
BVIIIISUP15/G	GBVIII056_7	GBVIII057_5	GBVIII055_6		GBVIII061_6		GBVIII053_6	GBVIII047_10
BVIIIISUP14/G		GBVIII057_6						GBVIII047_11
BVIIIISUP13/G	GBVIII056_8	GBVIII057_7	GBVIII055_7			GBVIII059_6	GBVIII053_7	GBVIII047_12
BVIIIISUP12/G	GBVIII056_9			GBVIII060_6			GBVIII053_8	
BVIIIISUP11/G	GBVIII056_10	GBVIII057_8	GBVIII055_8	GBVIII060_7	GBVIII061_7	GBVIII059_7	GBVIII053_9	
BVIIIISUP10/G	GBVIII056_11	GBVIII057_9	GBVIII055_9	GBVIII060_8	GBVIII061_8	GBVIII059_8	GBVIII053_10	
BVIIIISUP9/G				GBVIII060_9		GBVIII059_9		
BVIIIISUP8/G				GBVIII060_10	GBVIII061_9		GBVIII053_11	
BVIIIISUP7/G			GBVIII055_10					
BVIIIISUP6/G	GBVIII056_12	GBVIII057_10		GBVIII060_11		GBVIII059_10		
BVIIIISUP5/G			GBVIII055_11					
BVIIIISUP4/G					GBVIII061_10	GBVIII059_11	GBVIII053_12	
BVIIIISUP3/G		GBVIII057_11		GBVIII060_12	GBVIII061_11	GBVIII059_12		
BVIIIISUP2/G					GBVIII061_12			
BVIIIISUP1/G		GBVIII057_12						

5.2 Caso 2. Campo Jobo, Área Mayor de Temblador

Para el Campo Jobo, ubicado en la Cuenca Petrolífera de Oriente, se tomaron en cuenta un total de cinco pozos (JOC052, JOC053, JOC054, JOC065, y JOC066) (figura 5.12). Las técnicas objeto de este estudio se aplicaron en la Formación Oficina de edad Mioceno Temprano, conformada por una sucesión de rocas siliciclásticas.

5.2.1 Recolección de Datos

En esta unidad se procedió a la recolección de todos los datos disponibles, para luego efectuar la aplicación de la metodología explicada en el capítulo 3.

Para este campo se realizó la recopilación y preparación del grupo de perfiles de pozo los cuales se encuentran en archivos. LAS (*Log ASCII Standard*) y contienen los registros disponibles de cada pozo. En la tabla 5.11 se muestra una síntesis de los registros disponibles para cada pozo. Posteriormente se seleccionaron las curvas comunes en cada pozo en base al inventario de curvas disponibles de cada campo, dando como resultados los presentados en la tabla 5.12.

De los registros mostrados en la tabla 5.12, el registro CALI (que mide el diámetro del hoyo) y los registros Vsh, Sw y RWA y KINT (que son curvas calculadas producto de una evaluación petrofísica), fueron descartadas y no fueron utilizados, ya que para este estudio no se requiere trabajar con esa información.

De esta manera, se consideraron para el desarrollo del estudio las siguientes curvas: CNL, DN, y GR.

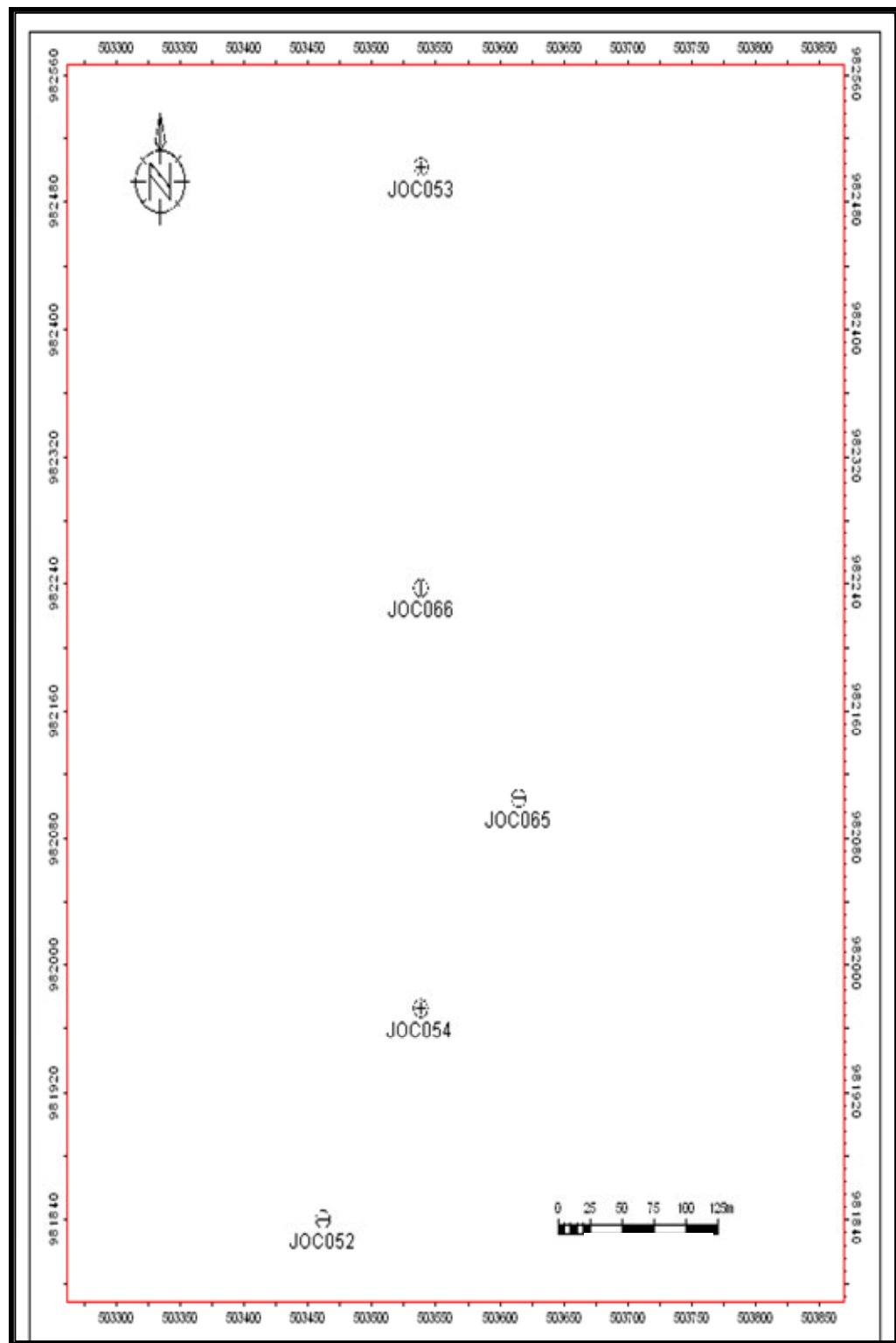


Figura 5.12. Mapa base del área de estudio, Campo Jobo.

Tabla 5.11. Tabla con lista de registros disponibles para cada pozo, Campo Jobo.

CAMPO POZOS	JOB					
	JOC052	JOC053	JOC054	JOC065	JOC066	
REGISTROS DISPONIBLES	CAL	CAL	CAL.	CAL	GR	
	CNL	CNL	DPHI.	CNL	LLD	
	CRD	CRD	DRHO.	DN	LLS	
	DN	DN	GR	FRD	RT	
	FRD	FRD	LLD	FRS	RWA	
	FRS	FRS	LLS	GR	SP	
	GR	GR	RWA	KINT	DNC	
	KINT	KINT	SP	LLD	VCL	
	MSF	MSF	SW	LLS	CAL	
	PHIE	PHIE	VSH	MSF	KINT.	
	PIGN	PIGN	RD	PHIE	PHIE.NONE	
	RT	RT	CRD	PIGN	PIGN.NONE	
	RWA	RWA	KINT.	RT	SUWI.NONE	
	SUWI	SUWI	PHIE.NONE	RWA	Sw	
	Sw	Sw	PIGN.NONE	SUWI	Vsh	
	VCL	VCL	Sw	Sw	CNL	
	Vsh	Vsh	Vsh	VCL	DN	
			CNL	Vsh	INV	
			DN		NOR	
			MFR		MSF	

Tabla 5.12. Tabla de registros comunes para cada pozo, Campo Jobo.

CAMPO POZOS	JOB				
	JOC052	JOC053	JOC054	JOC065	JOC066
REGISTROS COMUNES	CAL	CAL	CAL.	CAL	CAL
	CNL	CNL	CNL	CNL	CNL
	DN	DN	DN	DN	DN
	GR	GR	GR	GR	GR
	KINT	KINT	KINT	KINT	KINT
	RWA	RWA	RWA	RWA	RWA
	Sw	Sw	Sw	Sw	Sw
	Vsh	Vsh	Vsh	Vsh	Vsh

5.2.2 Procesamiento de Datos

Al igual que para el caso 1 de este estudio, para el método de análisis de *cluster*, se utilizó el programa *MVSP*, para lo cual se procedió a realizar el remuestreo de los registros de pozo, pasándolos de tener una muestra cada 0.5 pies de profundidad a una muestra cada cinco pies de profundidad, esto con la finalidad de disminuir el número de muestras a analizar debido a las limitaciones del programa.

Antes de la aplicación de las técnicas de análisis de la varianza y método de análisis geométrico se realizó un análisis de componentes principales PCA, donde la función principal fue la de generar un registro (PCA1) que representara la mayor varianza de las variables de entrada (registros seleccionados) para cada pozo. Este registro generado (PCA1) conforma los datos de entrada necesarios para la aplicación de estas técnicas de estudio.

En la tabla 5.13, se observa la matriz de PCA de las curvas analizadas en este caso donde se puede observar el aporte de cada registro en la nueva curva generada. Se puede decir que la curva que proporciona el mayor aporte para el análisis total, es la curva GR con un 90.37 %, respecto a las demás curvas. Generalizando, la contribución de todos los datos de las curvas utilizadas para la creación del nuevo perfil (PCA1) es de 47.04 %.

5.2.3 Implementación de Técnicas de Estudio

Para el presente campo, con el grupo de pozos de estudio y el conjunto de curvas seleccionadas en los párrafos anteriores, se procedió a manejar los datos en la plataforma de interpretación integrada Petrel (software sencillo de aplicación para visualización 3D, mapeo 3D, interpretación sísmica 2D y 3D, correlación de pozos y operaciones con registros de pozos, modelamiento reservorios 3D, y otros) (figura 5.13).

Tabla 5.13. Matriz de PCA, Campo Jobo.

Principal component analysis			
Correlation Coefficients	PC1	PC2	PC3
CNL	0.5335	0.7687	0.3528
DH	0.5569	-0.7500	0.3568
GR	0.9037	0.0084	-0.4281
Eigenvalue	1.4113	1.1536	0.4351
Contribution (%)	47.04	38.45	14.50
Cumulative Contribution (%)	47.04	85.50	100.00

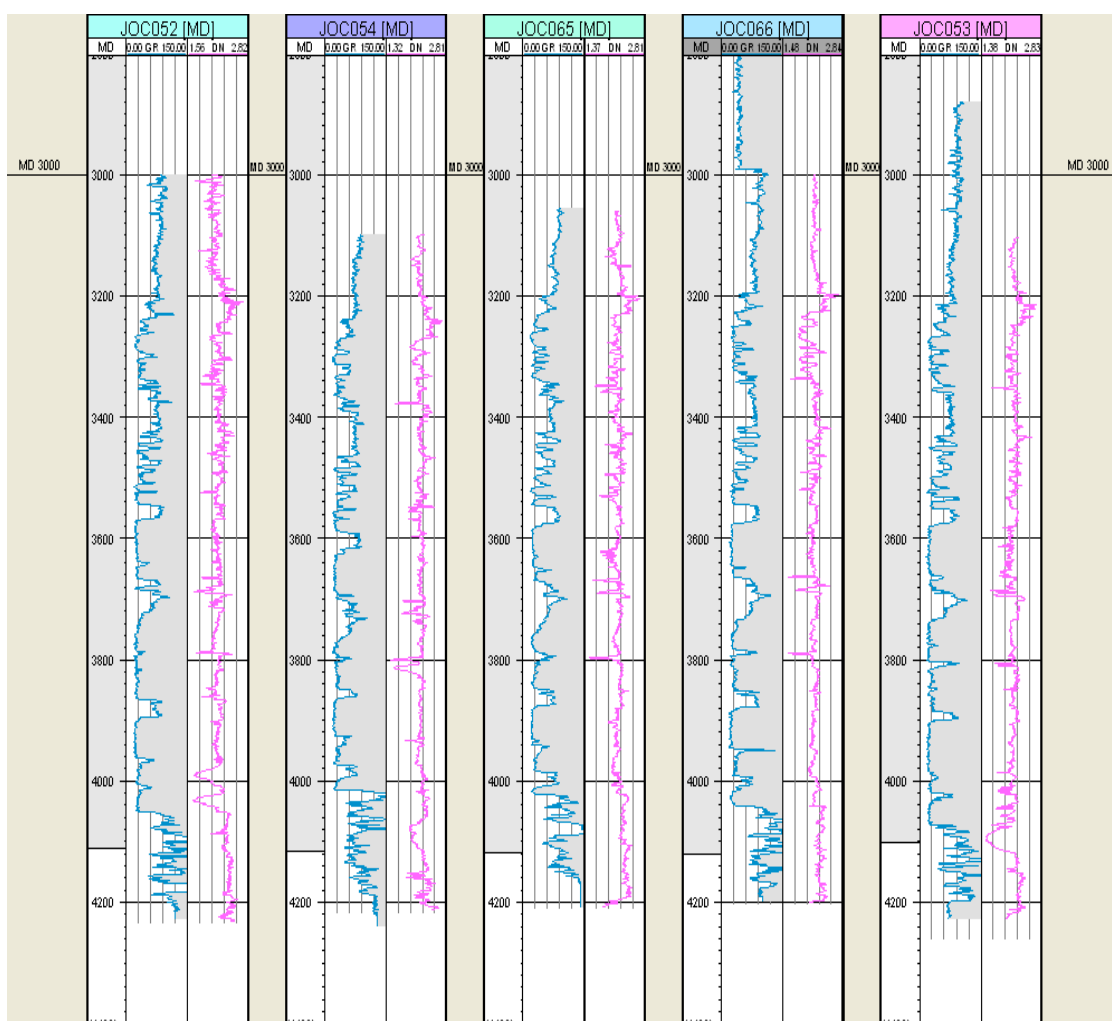


Figura 5.13. Registros de pozo Campo Jobo.

De manera similar que para el Campo Bloque VIII, se realizó el reconocimiento de las superficies que delimitan las secuencias geológicas en cada

pozo, tratando de buscar las principales variaciones en las respuestas de los perfiles, para la correlación posterior de estos contactos entre los pozos, empleando las técnicas convencionales de correlación litoestratigráfica, resultando así un reconocimiento total de catorce unidades delimitadas por quince contactos para cada pozo. Con estos resultados se generó una sección estratigráfica manteniendo una distancia uniforme entre los pozos, la cual es mostrada en la figura 5.14, y en la tabla 5.14 son mostradas las profundidades correspondientes por contacto. Sin embargo, para lograr una división en secuencias de igual magnitud o grado de detalle, para efectos de este análisis se descartan las superficies IJ2, IJ6 e IJ12, ya que se consideran como subdivisiones más detalladas y de menor magnitud con respecto a las otras superficies. De esta forma, resulta un total de 12 superficies que delimitan 11 secuencias, las cuales servirán de referencia para el análisis de las diferentes técnicas de estadísticas multivariadas aplicadas en este estudio. La figura 5.15 muestra la sección estratigráfica con las superficies de referencia mencionadas.

A continuación, se describe para este campo la aplicación de las técnicas de estudio seleccionadas como parte de los objetivos de este trabajo.

5.2.3.1 Análisis de *Cluster*:

De la misma manera que para el Campo Bloque VIII, para la implementación de esta técnica se utilizó la aplicación de análisis de *cluster* del programa *MVSP* (*Multivariate Statistical Package*), donde se cargaron todos los datos provenientes de los perfiles seleccionados por cada pozo, posteriormente se aplicó el análisis de *cluster* escogiendo la medida de similaridad y el método de agrupamiento (*clustering*), según lo explicado en el capítulo 3, donde resultaron ser el coeficiente de similaridad de Gower con el método de la Mediana, según se observa en el gráfico de la figura 5.16.

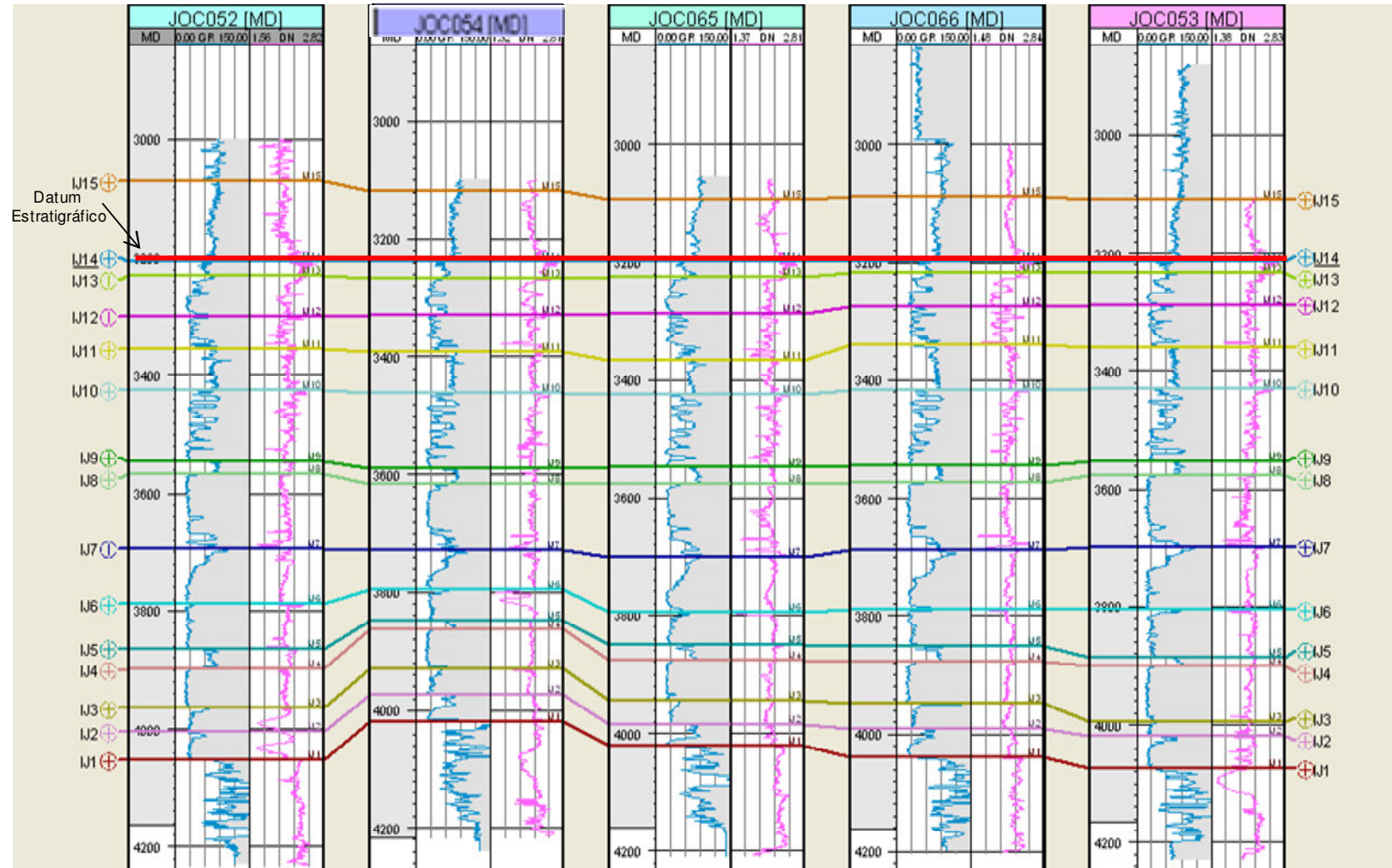


Figura 5.14. Correlación litoestratigráfica realizada aplicando las técnicas convencionales.

Tabla 5.14. Profundidad de los contactos geológicos interpretados en los registros de pozos mostrados en la sección de estudio.

TABLA DE CONTACTOS INTERPRETE JOBO		
Pozo	Superficie	Profundidad (Pies)
JOC052	IJ15	3070.24
JOC052	IJ14	3206.62
JOC052	IJ13	3230.10
JOC052	IJ12	3299.40
JOC052	IJ11	3355.68
JOC052	IJ10	3425.27
JOC052	IJ9	3544.92
JOC052	IJ8	3567.92
JOC052	IJ7	3693.50
JOC052	IJ6	3788.26
JOC052	IJ5	3865.95
JOC052	IJ4	3897.49
JOC052	IJ3	3964.62
JOC052	IJ2	4004.41
JOC052	IJ1	4052.73
JOC053	IJ15	3107.28
JOC053	IJ14	3214.10
JOC053	IJ13	3233.05
JOC053	IJ12	3233.05
JOC053	IJ11	3361.09
JOC053	IJ10	3430.25
JOC053	IJ9	3551.92
JOC053	IJ8	3287.60
JOC053	IJ7	3698.48
JOC053	IJ6	3805.83
JOC053	IJ5	3885.69
JOC053	IJ4	3900.30
JOC053	IJ3	3994.77
JOC053	IJ2	4019.95
JOC053	IJ1	4074.49
JOC054	IJ15	3118.79
JOC054	IJ14	3238.44
JOC054	IJ13	3267.80
JOC054	IJ12	3328.71
JOC054	IJ11	3391.65
JOC054	IJ10	3462.97
JOC054	IJ9	3588.84
JOC054	IJ8	3616.18
JOC054	IJ7	3729.47
JOC054	IJ6	3796.59
JOC054	IJ5	3849.11
JOC054	IJ4	3863.72
JOC054	IJ3	3930.85
JOC054	IJ2	3972.81
JOC054	IJ1	4018.96
JOC065	IJ15	3094.31
JOC065	IJ14	3199.20
JOC065	IJ13	3226.54
JOC065	IJ12	3287.45
JOC065	IJ11	3367.17
JOC065	IJ10	3425.91
JOC065	IJ9	3547.58
JOC065	IJ8	3576.95
JOC065	IJ5	3700.79
JOC065	IJ3	3795.97
JOC065	IJ5	3849.81
JOC065	IJ4	3877.01
JOC065	IJ3	3944.14
JOC065	IJ2	3984.07
JOC065	IJ1	4021.83
JOC066	IJ15	3087.22
JOC066	IJ14	3198.47
JOC066	IJ13	3217.28
JOC066	IJ12	3276.16
JOC066	IJ11	3339.10
JOC066	IJ10	3416.64
JOC066	IJ9	3544.68
JOC066	IJ8	3574.05
JOC066	IJ7	3689.50
JOC066	IJ6	3790.20
JOC066	IJ5	3851.11
JOC066	IJ4	3878.30
JOC066	IJ3	3947.60
JOC066	IJ2	3991.59
JOC066	IJ1	4039.91

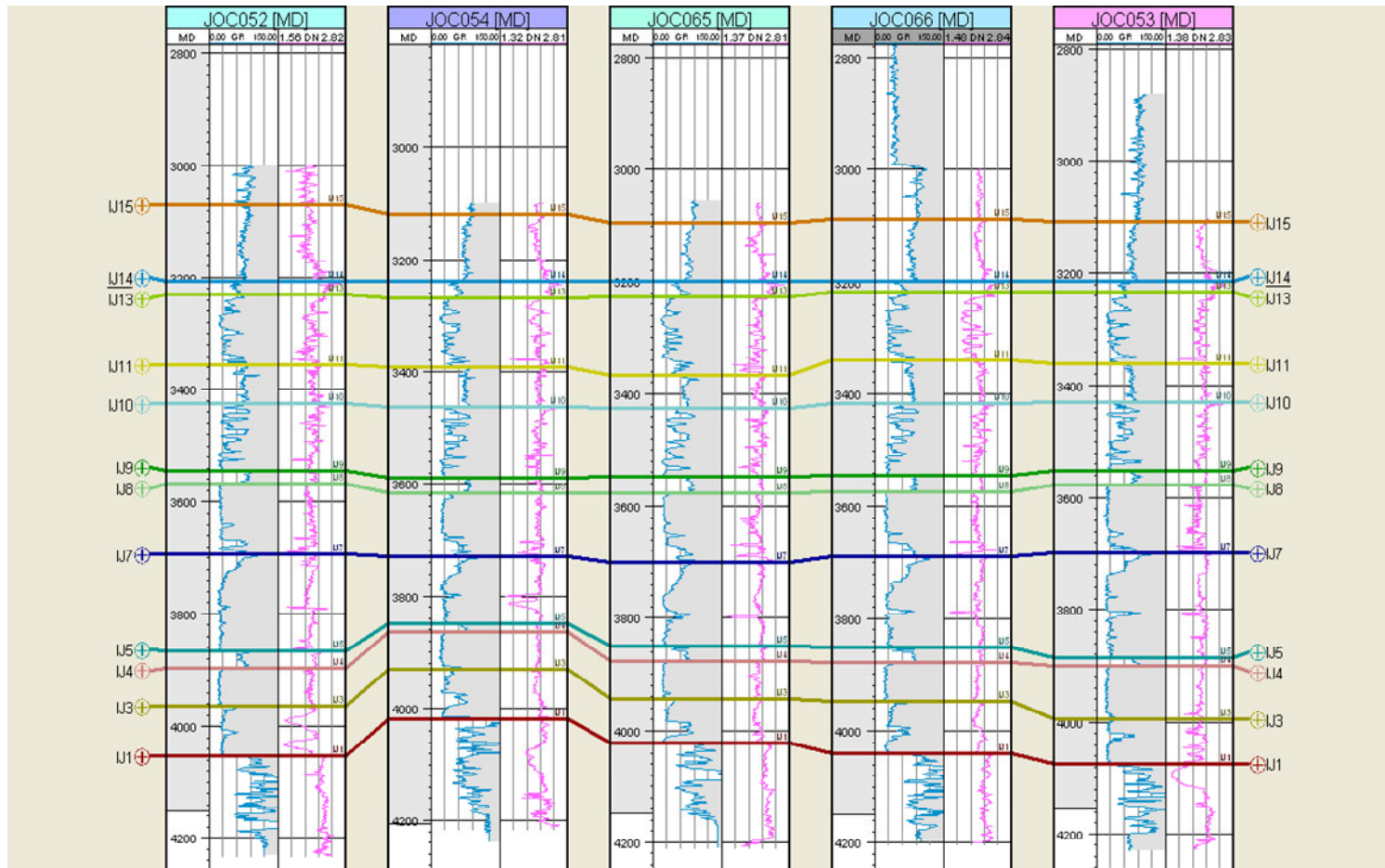


Figura 5.15. Sección estratigráfica con las superficies de referencia determinadas por la intérprete para el análisis de las diferentes técnicas aplicadas en este estudio.

POZO	JOC052 / JOC053 / JOC054 / JOC065 / JOC066											
MÉTODO	CENTROIDE				MEDIANA				FARTHEST			
SIMILITUD	GOWER	MORISITA'S	PEARSON	SPEARMAN	GOWER	MORISITA'S	PEARSON	SPEARMAN	GOWER	MORISITA'S	PEARSON	SPEARMAN
Nº DE VECES QUE APARECE EL TOPE SEGÚN EL MÉTODO Y SEGÚN CADA SIMILITUD												
GBJ_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GBJ_2	1	1	1	0	3	1	1	0	3	0	0	0
GBJ_3	4	1	1	2	5	1	2	2	4	0	0	0
GBJ_4	2	1	2	2	3	3	1	2	0	0	0	0
GBJ_5	2	0	2	2	1	0	1	2	1	0	0	0
GBJ_6	2	0	2	2	1	0	3	2	1	1	0	0
GBJ_7	0	2	1	2	1	2	0	2	0	2	0	0
GBJ_8	1	0	1	1	1	0	2	1	2	0	0	0
GBJ_9	1	3	2	1	1	2	1	1	3	4	0	0
GBJ_10	4	2	1	3	5	2	2	3	1	5	0	0
GBJ_11	3	2	0	2	4	1	0	2	5	3	0	0
TOTAL	20	12	13	17	25	12	13	17	20	15	0	0

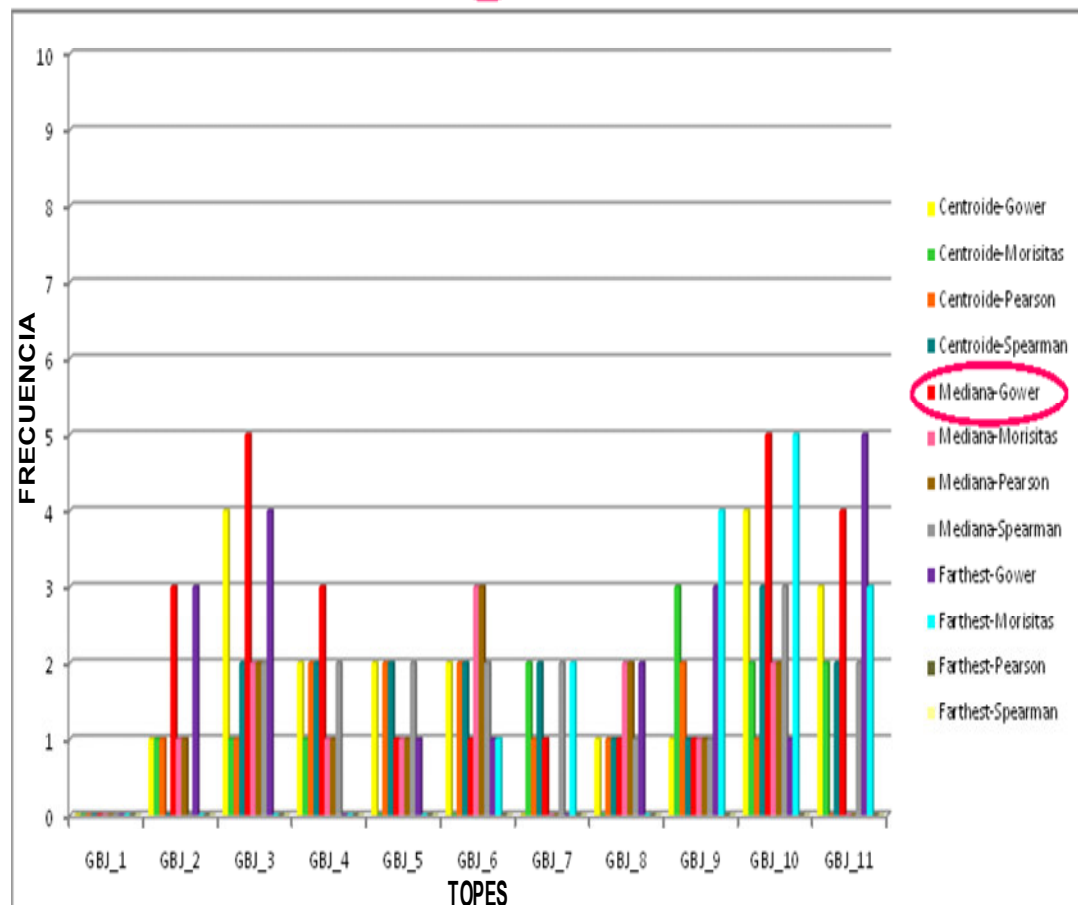


Figura 5.16. Análisis estadístico del Campo Jobo, para la determinación del método y la medida de similitud del proceso de agrupamiento (*clustering*).

Con lo descrito anteriormente, se obtiene como resultado un dendograma para cada pozo, que fue analizado para determinar los contactos con mayor jerarquía, para así reconocer las unidades o zonas en las que se divide el registro según este criterio. Este proceso también se conoce como zonación de registros.

Para este campo se tomaron en cuenta los trece primeros *clusters*, los cuales expresan las menores medidas de similitud y los cuales representan las variaciones más resaltantes de las respuestas de los registros, donde se buscó obtener doce contactos para evaluar posteriormente el grado de correspondencia con los contactos obtenidos por las técnicas convencionales de correlación. En la figura 5.17 se puede observar el dendograma donde se destacan los trece *clusters* identificados para uno de los pozos de este campo de estudio.

La figura 5.18 muestra los pozos estudiados con los contactos obtenidos por esta técnica, y la tabla 5.15 muestra las profundidades de estos contactos para cada pozo. Seguidamente se procedió a determinar la equivalencia lateral de estos contactos entre los pozos, dando como resultado una sección de correlación de zonas o secuencias (figura 5.19) la cual se procederá a comparar con la obtenida mediante técnicas de correlación convencional, además también se obtuvo una tabla donde se observan los contactos que conforman las superficies correlacionadas en orden estratigráfico (tabla 5.16).

5.2.3.2 Análisis de la Varianza:

Para realizar la zonación de registros de pozo mediante la técnica de análisis de la varianza, se utilizó la técnica de ANOVA, al igual que en el Campo Bloque VIII, donde se efectúan cálculos de varianza para fragmentar los datos del registro en zonas, cuya varianza interna sea la menor, y la varianza entre ellas sea la mayor. Dicho análisis se llevó a cabo mediante la corrida de una rutina de programación para

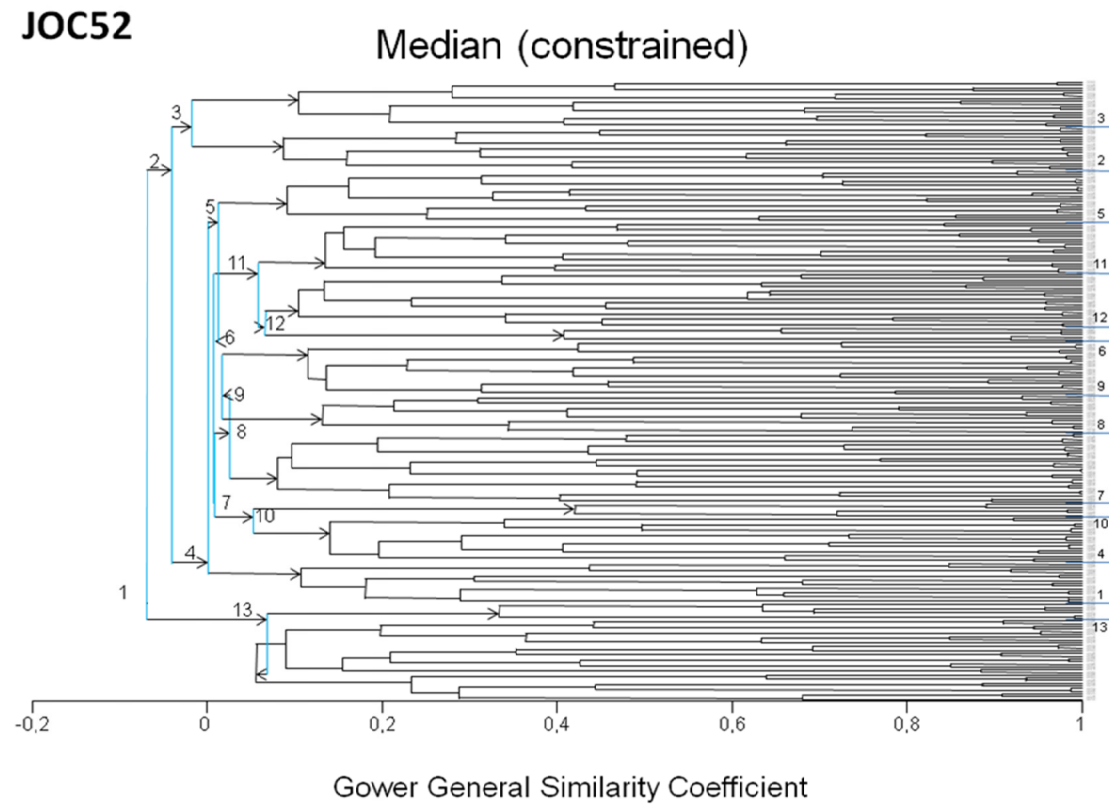


Figura 5.17. Dendrograma con señalamiento de *clusters* principales

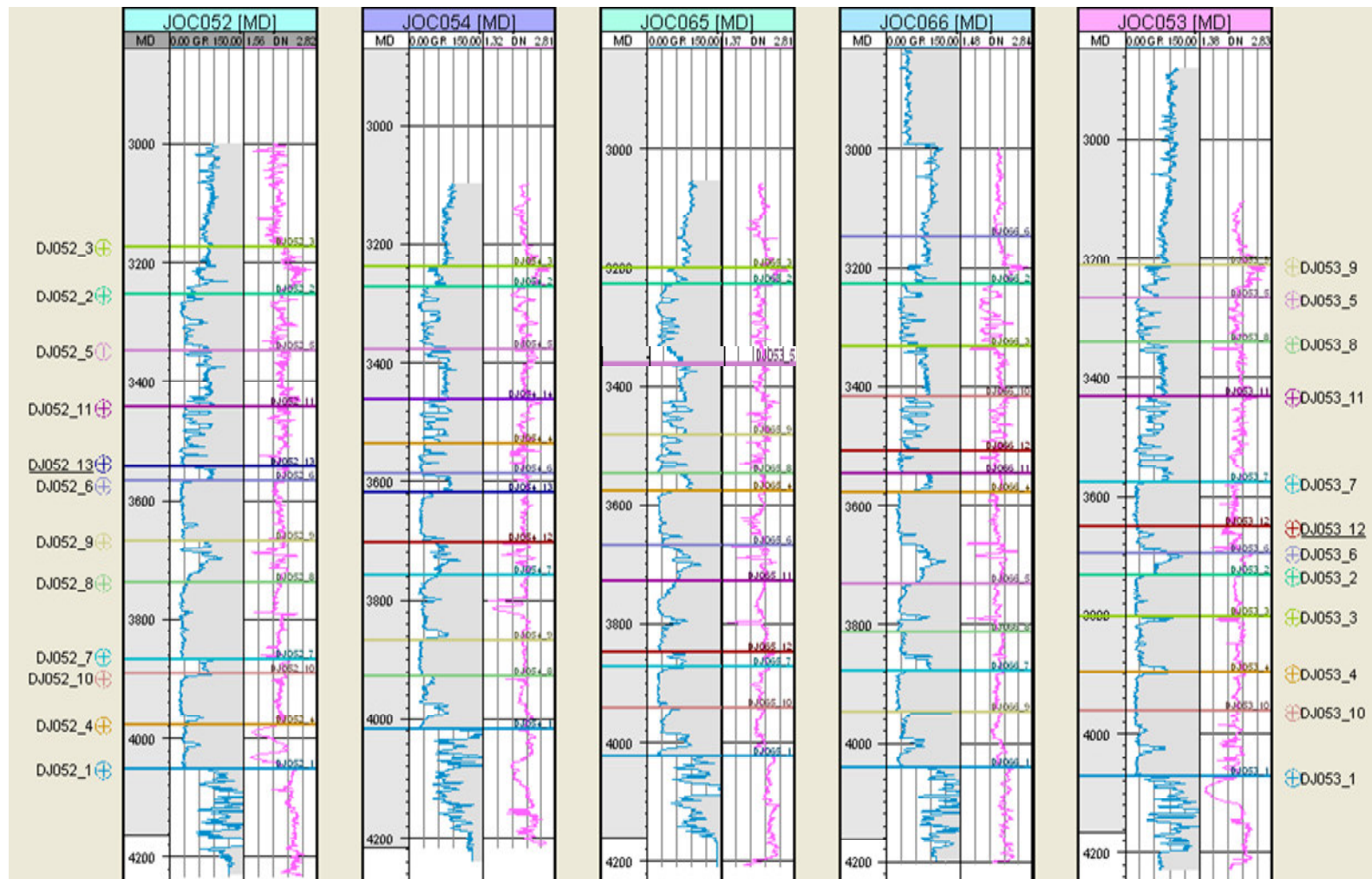


Figura 5.18. Contactos obtenidos por la técnica análisis de *cluster* (dendogramas).

Tabla 5.15. Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir de la técnica análisis de *cluster* (dendogramas).

TABLA DE CONTACTOS ANÁLISIS DE <i>CLUSTER</i> JOBO		
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
JOC052	DJ052_3	3172.50
JOC052	DJ052_2	3252.50
JOC052	DJ052_5	3347.50
JOC052	DJ052_11	3442.50
JOC052	DJ052_13	3542.50
JOC052	DJ052_6	3567.50
JOC052	DJ052_9	3667.50
JOC052	DJ052_8	3737.50
JOC052	DJ052_7	3867.50
JOC052	DJ052_10	3892.50
JOC052	DJ052_4	3977.50
JOC052	DJ052_1	4052.50
JOC053	DJ053_9	3212.50
JOC053	DJ053_5	3267.50
JOC053	DJ053_8	3342.50
JOC053	DJ053_11	3432.50
JOC053	DJ053_7	3577.50
JOC053	DJ053_12	3652.50
JOC053	DJ053_6	3697.50
JOC053	DJ053_2	3732.50
JOC053	DJ053_3	3802.50
JOC053	DJ053_4	3897.50
JOC053	DJ053_10	3962.50
JOC053	DJ053_1	4072.50
JOC054	DJ054_3	3237.50
JOC054	DJ054_2	3272.50
JOC054	DJ054_5	3377.50
JOC054	DJ054_14	3462.50
JOC054	DJ054_4	3537.50
JOC054	DJ054_6	3587.50
JOC054	DJ054_13	3617.50
JOC054	DJ054_12	3702.50
JOC054	DJ054_7	3757.50
JOC054	DJ054_9	3867.50
JOC054	DJ054_8	3927.50
JOC054	DJ054_1	4017.50
JOC065	DJ065_3	3202.50
JOC065	DJ065_2	3227.50
JOC065	DJ065_5	3362.50
JOC065	DJ065_9	3482.50
JOC065	DJ065_8	3547.50
JOC065	DJ065_4	3577.50
JOC065	DJ065_6	3667.50
JOC065	DJ065_11	3727.50
JOC065	DJ065_12	3847.50
JOC065	DJ065_7	3872.50
JOC065	DJ065_10	3942.50
JOC065	DJ065_1	4022.50
JOC066	DJ066_6	3147.50
JOC066	DJ066_2	3227.50
JOC066	DJ066_3	3332.50
JOC066	DJ066_10	3417.50
JOC066	DJ066_12	3507.50
JOC066	DJ066_11	3547.50
JOC066	DJ066_4	3577.50
JOC066	DJ066_5	3732.50
JOC066	DJ066_8	3812.50
JOC066	DJ066_7	3877.50
JOC066	DJ066_9	3947.50
JOC066	DJ066_1	4042.50

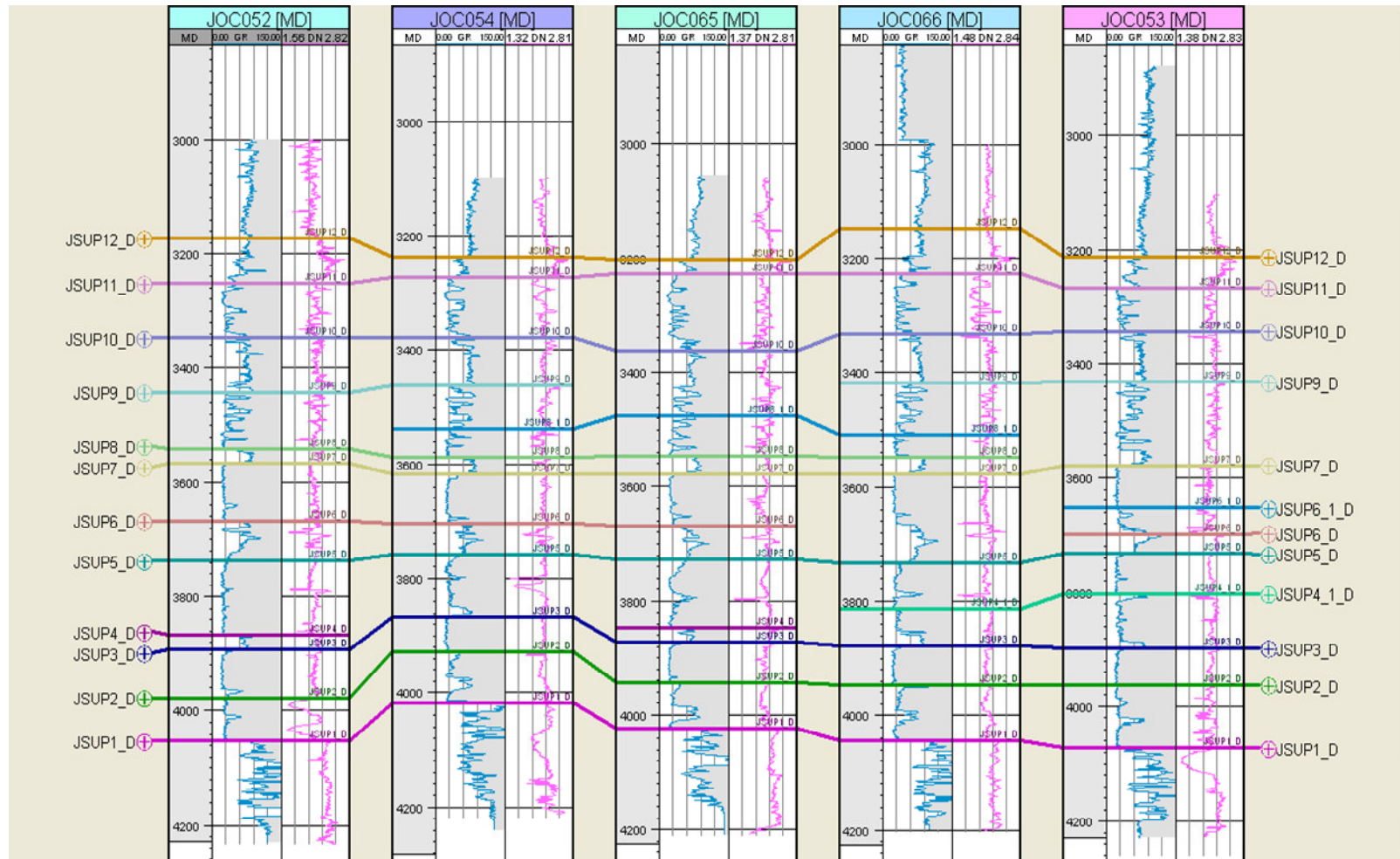


Figura 5.19. Correlación de contactos determinados mediante la técnica análisis de *cluster* (dendrogramas).

Tabla 5.16. Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de *cluster* (dendogramas), Campo Jobo.

Superficies por <i>Clusters</i>	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
JSUP12 D	DJ052_3	DJ054_3	DJ065_3	DJ066_6	DJ053_9
JSUP11 D	DJ052_2	DJ054_2	DJ065_2	DJ066_2	DJ053_5
JSUP10 D	DJ052_5	DJ054_5	DJ065_5	DJ066_3	DJ053_8
JSUP9 D	DJ052_11	DJ054_14		DJ066_10	DJ053_11
JSUP8 1 D		DJ054_4	DJ065_9	DJ066_12	
JSUP8 D	DJ052_13	DJ054_6	DJ065_8	DJ066_11	
JSUP7 D	DJ052_6	DJ054_13	DJ065_4	DJ066_4	DJ053_7
JSUP6 1 D					DJ053_12
JSUP6 D	DJ052_9	DJ054_12	DJ065_6		DJ053_6
JSUP5 D	DJ052_8	DJ054_7	DJ065_11	DJ066_5	DJ053_2
JSUP4 1 D				DJ066_8	DJ053_3
JSUP4 D	DJ052_7		DJ065_12		
JSUP3 D	DJ052_10	DJ054_9	DJ065_7	DJ066_7	DJ053_4
JSUP2 D	DJ052_4	DJ054_8	DJ065_10	DJ066_9	DJ053_10
JSUP1 D	DJ052_1	DJ054_1	DJ065_1	DJ066_1	DJ053_1

la zonación de registros, elaborada e implementada en PDVSA Intevep, llamada INLASPro.

Luego de cargar los datos de la curva de PCA1, ya generada, se indicó un número determinado de 13 zonas, siguiendo el criterio de zonas y contactos explicado anteriormente, resultando así las profundidades de los primeros contactos según sea la magnitud de la diferencia entre las varianzas. Al igual que se realizó con la técnica anterior, estos resultados se procederán a comparar con los obtenidos por las técnicas de correlación convencional.

Los pozos de estudio con los contactos obtenidos por este análisis son mostrados en la figura 5.20 y en la tabla 5.17 se pueden observar las profundidades resultantes de estos contactos para cada pozo. Seguidamente se determinó la equivalencia lateral de estos contactos entre los pozos, dando como resultado una

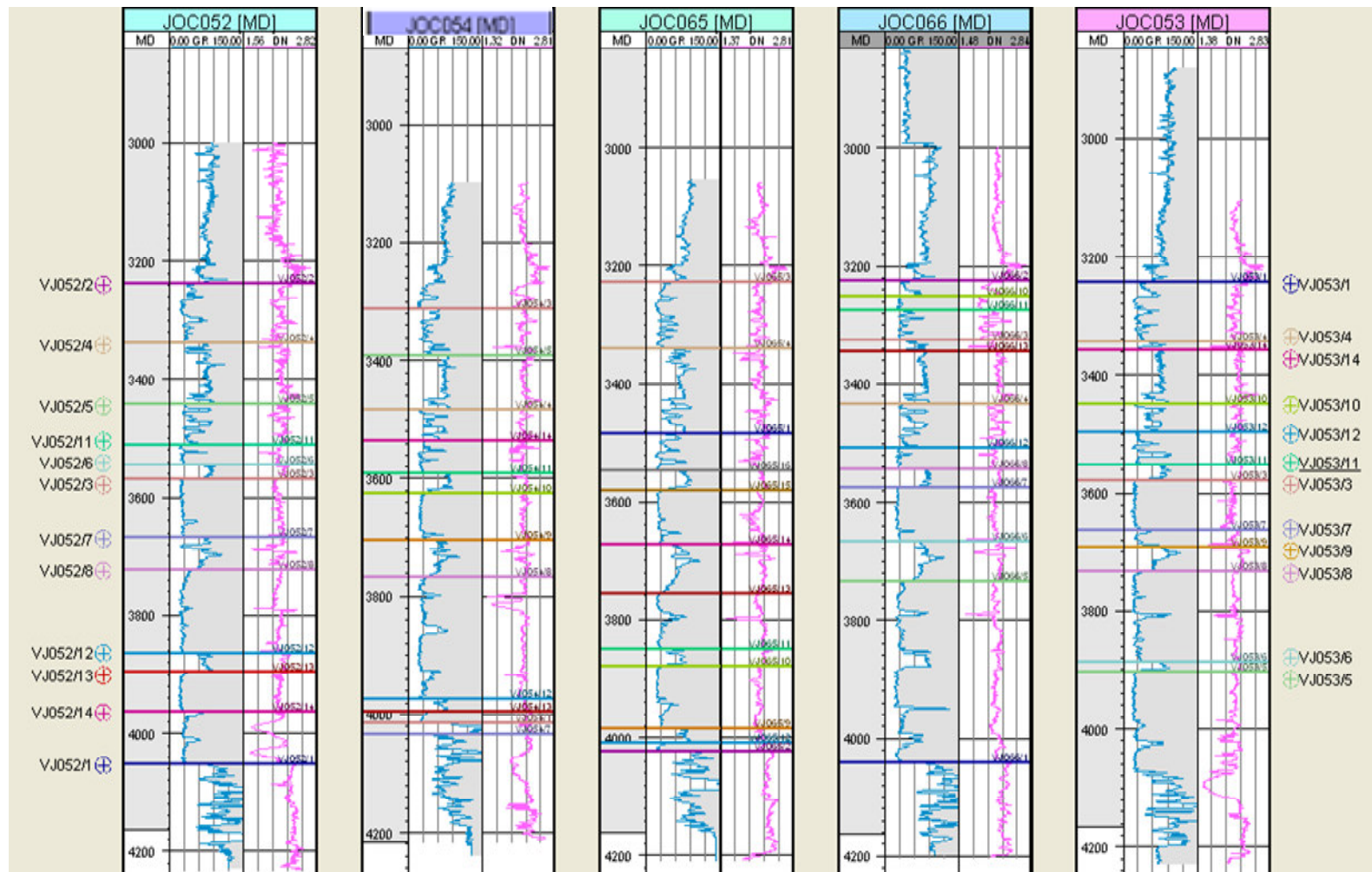


Figura 5.20. Contactos obtenidos por la técnica análisis de la varianza.

Tabla 5.17. Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir de la técnica análisis de la varianza.

TABLA DE CONTACTOS ANÁLISIS DE LA VARIANZA JOBO		
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
JOC052	VJ052/2	3237.50
JOC052	VJ052/4	3339.50
JOC052	VJ052/5	3443.00
JOC052	VJ052/11	3511.00
JOC052	VJ052/6	3546.50
JOC052	VJ052/3	3569.00
JOC052	VJ052/7	3668.00
JOC052	VJ052/8	3722.50
JOC052	VJ052/12	3866.00
JOC052	VJ052/13	3895.50
JOC052	VJ052/14	3963.00
JOC052	VJ052/1	4052.00
JOC053	VJ053/1	3243.50
JOC053	VJ053/4	3345.00
JOC053	VJ053/14	3359.50
JOC053	VJ053/10	3449.00
JOC053	VJ053/12	3498.50
JOC053	VJ053/11	3552.00
JOC053	VJ053/3	3578.50
JOC053	VJ053/7	3663.00
JOC053	VJ053/9	3692.00
JOC053	VJ053/8	3734.00
JOC053	VJ053/6	3886.50
JOC053	VJ053/5	3904.00
JOC054	VJ054/3	3314.00
JOC054	VJ054/5	3391.50
JOC054	VJ054/4	3484.00
JOC054	VJ054/14	3536.50
JOC054	VJ054/11	3591.00
JOC054	VJ054/10	3626.00
JOC054	VJ054/9	3705.50
JOC054	VJ054/8	3766.00
JOC054	VJ054/12	3974.00
JOC054	VJ054/13	3996.00
JOC054	VJ054/1	4015.50
JOC054	VJ054/7	4033.00
JOC065	VJ065/3	3229.00
JOC065	VJ065/4	3341.50
JOC065	VJ065/1	3485.00
JOC065	VJ065/16	3548.50
JOC065	VJ065/15	3581.00
JOC065	VJ065/14	3671.50
JOC065	VJ065/13	3755.50
JOC065	VJ065/11	3849.50
JOC065	VJ065/10	3878.50
JOC065	VJ065/9	3985.50
JOC065	VJ065/12	4009.00
JOC065	VJ065/2	4023.50
JOC066	VJ066/2	3224.50
JOC066	VJ066/10	3250.50
JOC066	VJ066/11	3276.50
JOC066	VJ066/3	3325.50
JOC066	VJ066/13	3344.50
JOC066	VJ066/4	3435.00
JOC066	VJ066/12	3509.50
JOC066	VJ066/8	3545.50
JOC066	VJ066/7	3576.50
JOC066	VJ066/6	3666.00
JOC066	VJ066/5	3734.00
JOC066	VJ066/1	4042.50

sección de correlación de zonas o secuencias (figura 5.21) con una tabla donde se expresan los contactos que conforman las superficies de la sección (tabla 5.18).

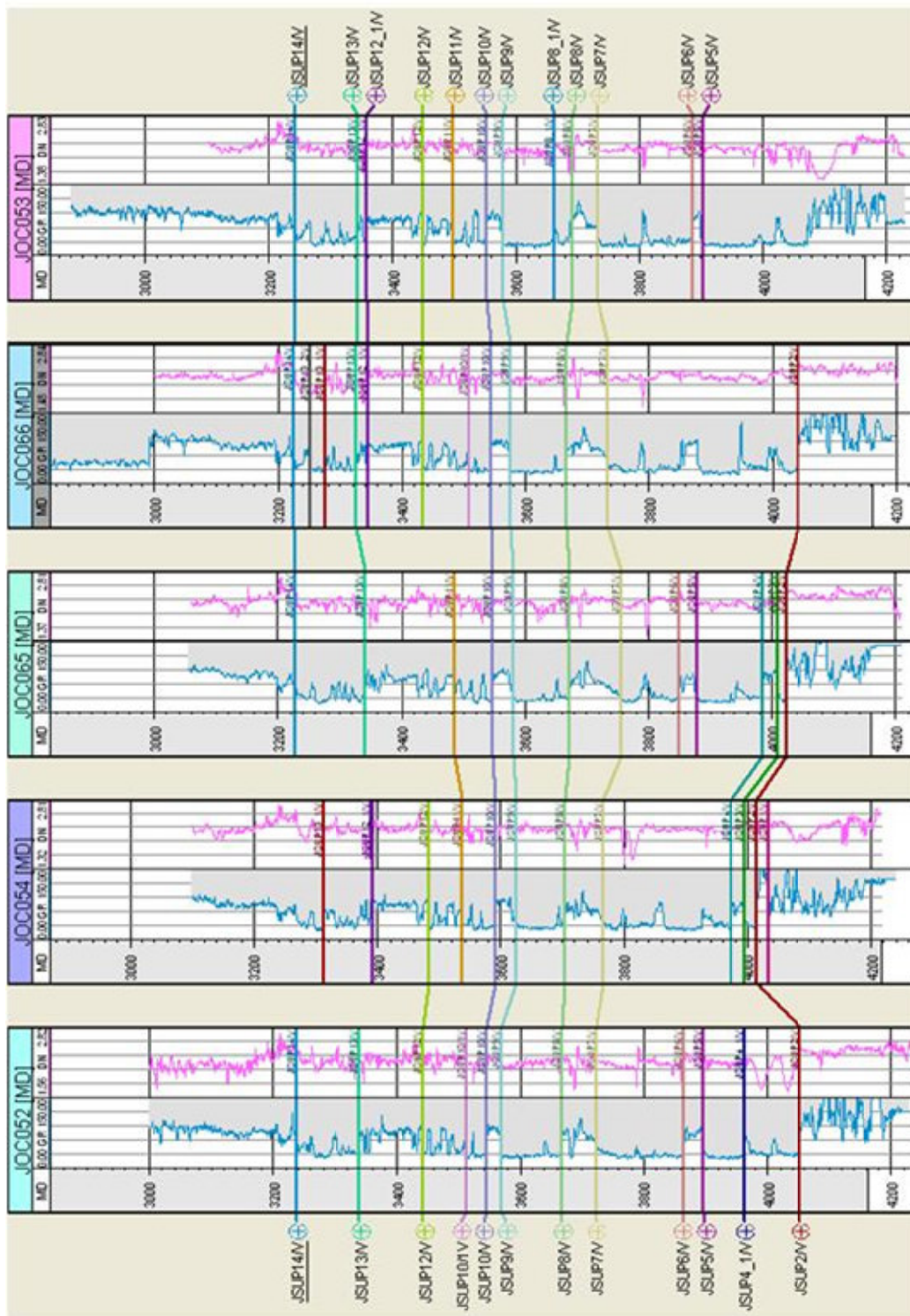


Figura 5.21. Correlación de contactos determinada mediante la técnica análisis de la varianza.

Tabla 5.18. Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis de la varianza, Campo Jobo.

Superficies por Varianza	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
JSUP14/V	VJ052/2		VJ065/3	VJ066/2	VJ053/1
JSUP13 2/V				VJ066/10	
JSUP13 1/V		VJ054/3		VJ066/11	
JSUP13/V	VJ052/4		VJ065/4	VJ066/3	VJ053/4
JSUP12 1/V		VJ054/5		VJ066/13	VJ053/14
JSUP12/V	VJ052/5	VJ054/4		VJ066/4	VJ053/10
JSUP11/V		VJ054/14	VJ065/1		VJ053/12
JSUP10 1/V	VJ052/11			VJ066/12	
JSUP10/V	VJ052/6	VJ054/11	VJ065/16	VJ066/8	VJ053/11
JSUP9/V	VJ052/3	VJ054/10	VJ065/15	VJ066/7	VJ053/3
JSUP8 1/V					VJ053/7
JSUP8/V	VJ052/7	VJ054/9	VJ065/14	VJ066/6	VJ053/9
JSUP7/V	VJ052/8	VJ054/8	VJ065/13	VJ066/5	VJ053/8
JSUP6/V	VJ052/12		VJ065/11		VJ053/6
JSUP5/V	VJ052/13		VJ065/10		VJ053/5
JSUP4 1/V	VJ052/14				
JSUP4/V		VJ054/12	VJ065/9		
JSUP3/V		VJ054/13	VJ065/12		
JSUP2/V	VJ052/1	VJ054/1	VJ065/2	VJ066/1	
JSUP1/V		VJ054/7			

5.2.3.3 Método de Análisis Geométrico

Mediante el programa INLASPro, la zonación de registros de pozo a través del análisis geométrico de las curvas, se realizó al cargar los datos de la curva PCA1, al igual que en el análisis de la varianza, luego se plasmaron los parámetros correspondientes para la aplicación de la subrutina en función de las características del campo a estudiar, todo esto a fin de obtener el número de contactos previamente definido (doce) que representarían las secuencias identificadas en el registro tipo.

La figura 5.22 muestra los contactos por pozo obtenidos con este método, asimismo en la tabla 5.19 se pueden observar las profundidades de estos contactos en cada pozo. Luego se procedió a determinar la correspondencia lateral de estos contactos entre los pozos, obteniendo de esta manera una sección de correlación de secuencias (figura 5.23) la cual se comparará con la sección realizada por la intérprete

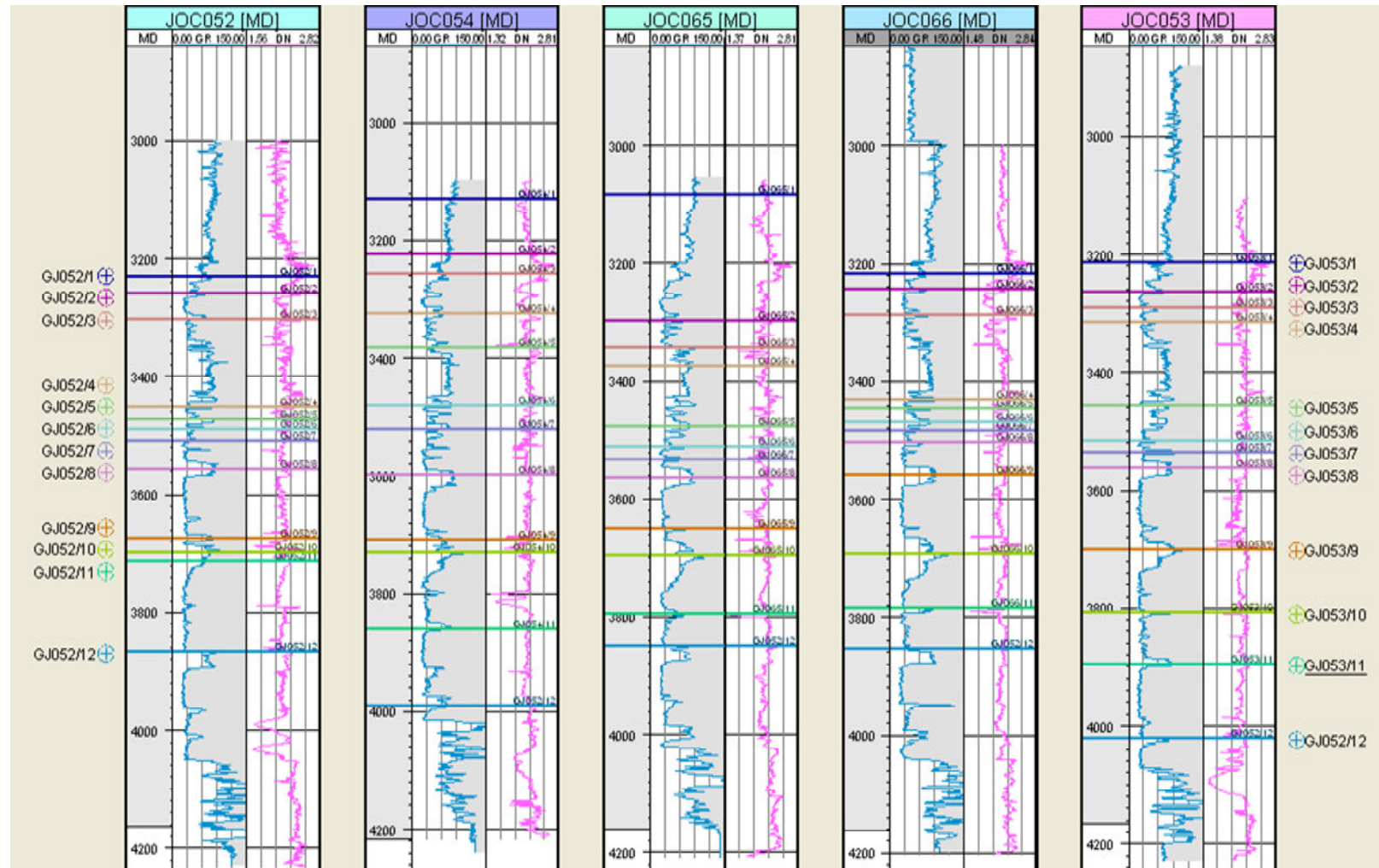


Figura 5.22. Contactos obtenidos por el método de análisis geométrico.

Tabla 5.19. Tabla de profundidad de contactos obtenida a partir del método de análisis geométrico.

TABLA DE CONTACTOS ANÁLISIS GEOMÉTRICO JOBO		
Pozo	Contacto	Profundidad (Pies)
JOC052	GJ052/1	3230.50
JOC052	GJ052/2	3260.50
JOC052	GJ052/3	3302.00
JOC052	GJ052/4	3451.00
JOC052	GJ052/5	3474.00
JOC052	GJ052/6	3489.50
JOC052	GJ052/7	3508.50
JOC052	GJ052/8	3558.50
JOC052	GJ052/9	3675.00
JOC052	GJ052/10	3698.00
JOC052	GJ052/11	3714.50
JOC052	GJ052/12	3868.00
JOC053	GJ053/1	3213.00
JOC053	GJ053/2	3264.50
JOC053	GJ053/3	3290.50
JOC053	GJ053/4	3315.50
JOC053	GJ053/5	3458.00
JOC053	GJ053/6	3516.00
JOC053	GJ053/7	3536.50
JOC053	GJ053/8	3563.00
JOC053	GJ053/9	3701.50
JOC053	GJ053/10	3808.50
JOC053	GJ053/11	3896.00
JOC053	GJ053/12	4022.00
JOC054	GJ054/1	3129.50
JOC054	GJ054/2	3224.00
JOC054	GJ054/3	3257.50
JOC054	GJ054/4	3324.00
JOC054	GJ054/5	3382.00
JOC054	GJ054/6	3482.00
JOC054	GJ054/7	3521.50
JOC054	GJ054/8	3600.00
JOC054	GJ054/9	3709.00
JOC054	GJ054/10	3732.00
JOC054	GJ054/11	3860.50
JOC054	GJ052/12	3990.00
JOC065	GJ065/1	3083.50
JOC065	GJ065/2	3298.00
JOC065	GJ065/3	3344.50
JOC065	GJ065/4	3374.50
JOC065	GJ065/5	3477.00
JOC065	GJ065/6	3512.00
JOC065	GJ065/7	3532.00
JOC065	GJ065/8	3563.50
JOC065	GJ065/9	3652.00
JOC065	GJ065/10	3697.00
JOC065	GJ065/11	3794.00
JOC065	GJ066/12	3851.50
JOC066	GJ066/1	3217.50
JOC066	GJ066/2	3243.00
JOC066	GJ066/3	3288.00
JOC066	GJ066/4	3431.50
JOC066	GJ066/5	3446.50
JOC066	GJ066/6	3469.50
JOC066	GJ066/7	3484.50
JOC066	GJ066/8	3504.50
JOC066	GJ066/9	3560.00
JOC066	GJ066/10	3694.50
JOC066	GJ066/11	3786.00
JOC066	GJ066/12	3854.00

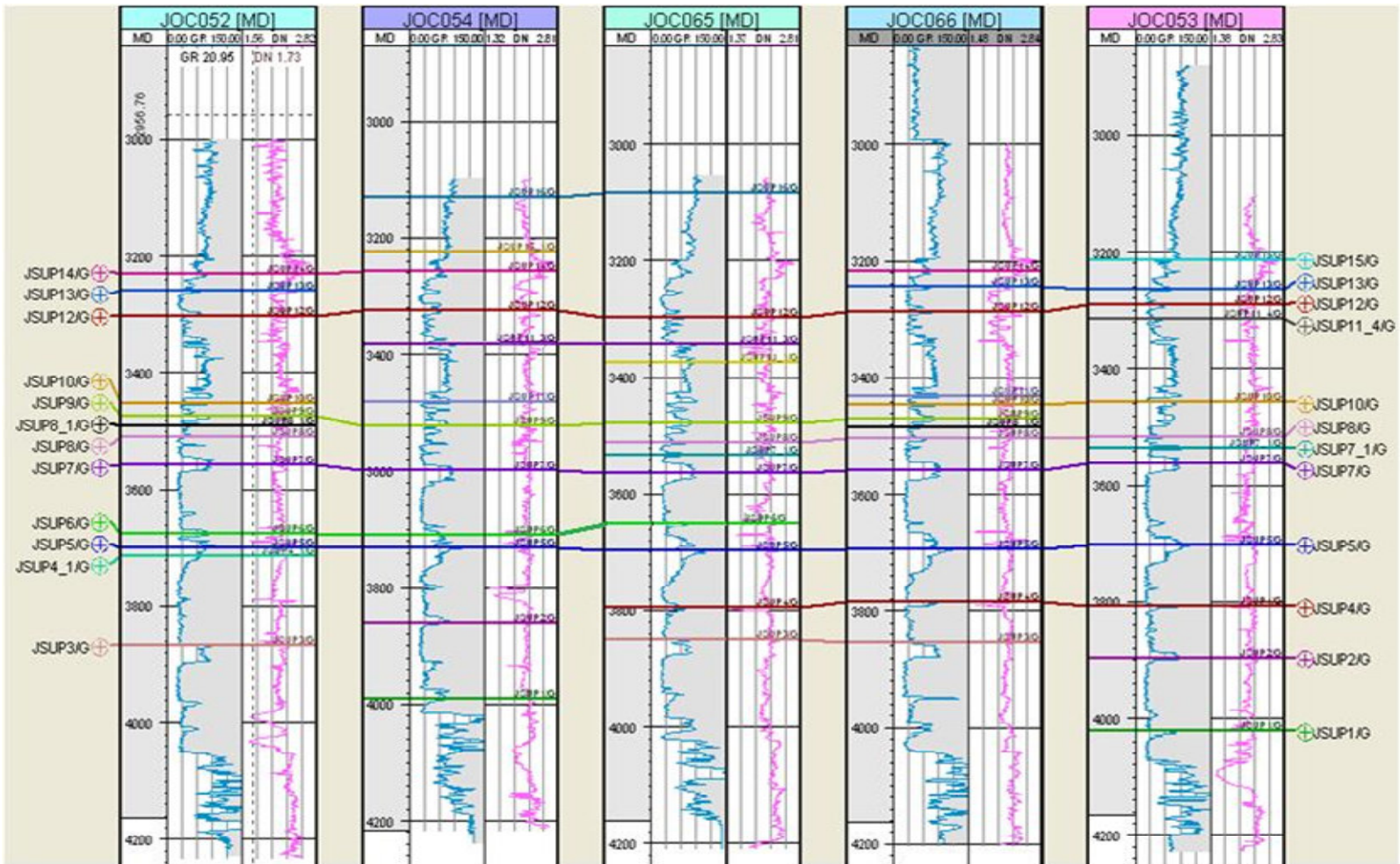


Figura 5.23. Correlación de contactos determinada mediante el método de análisis geométrico.

y resultando también una tabla que muestra las superficies en orden estratigráfico con las contactos que las componen (tabla 5.20).

Tabla 5.20. Superficies obtenidas a partir de los contactos detectados por el análisis geométrico, Campo Jobo.

Superficies por Geométrico	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Tope	Tope	Tope	Tope	Tope
JSUP16/G		GJ054/1	GJ065/1		
JSUP15_1/G		GJ054/2			
JSUP15/G					GJ053/1
JSUP14/G	GJ052/1	GJ054/3		GJ066/1	
JSUP13/G	GJ052/2			GJ066/2	GJ053/2
JSUP12/G	GJ052/3	GJ054/4	GJ065/2	GJ066/3	GJ053/3
JSUP11_4/G					GJ053/4
JSUP11_3/G		GJ054/5	GJ065/3		
JSUP11_1/G			GJ065/4		
JSUP11/G		GJ054/6		GJ066/4	
JSUP10/G	GJ052/4			GJ066/5	GJ053/5
JSUP9/G	GJ052/5	GJ054/7	GJ065/5	GJ066/6	
JSUP8_1/G	GJ052/6			GJ066/7	
JSUP8/G	GJ052/7		GJ065/6	GJ066/8	GJ053/6
JSUP7_1/G			GJ065/7		GJ053/7
JSUP7/G	GJ052/8	GJ054/8	GJ065/8	GJ066/9	GJ053/8
JSUP6/G	GJ052/9	GJ054/9	GJ065/9		
JSUP5/G	GJ052/10	GJ054/10	GJ065/10	GJ066/10	GJ053/9
JSUP4_1/G	GJ052/11				
JSUP4/G			GJ065/11	GJ066/11	GJ053/11
JSUP3/G	GJ052/12		GJ065/12	GJ066/12	
JSUP2/G		GJ054/11			GJ053/12
JSUP1/G		GJ054/12			GJ053/11

CAPÍTULO VI

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Registros Sintéticos

En el estudio de correlación convencional de registros realizado para pozos de datos sintéticos se identificaron 7 superficies que limitan 7 unidades mayores o secuencias, que a criterio de la autora constituyen los contrastes más representativos de la sección estudiada (figura 6.1).

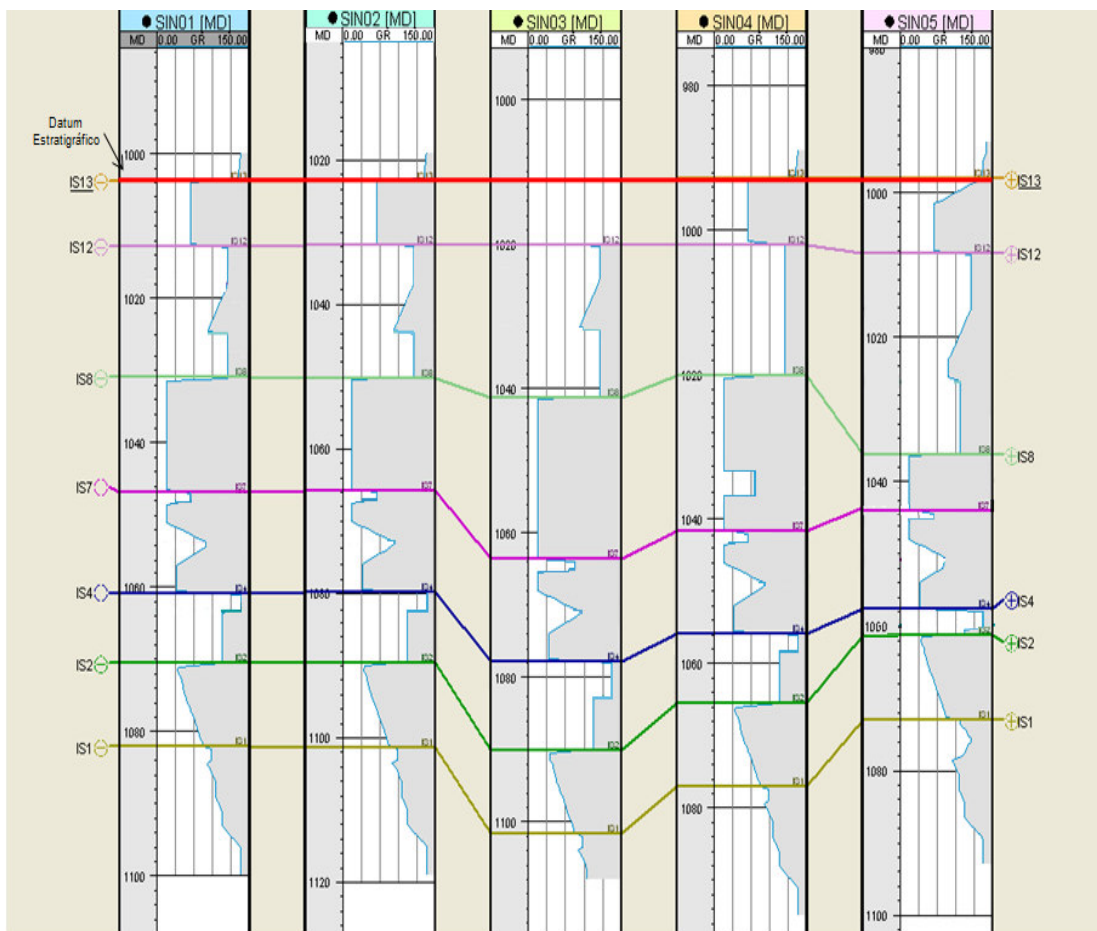


Figura 6.1. Superficies de referencia que constituyen los contrastes más representativos de la sección de registros sintéticos.

6.1.1 Análisis de *Clusters*

La interpretación y análisis de los resultados obtenidos de la aplicación del análisis de *clusters* en los datos correspondientes a los registros sintéticos, se basa en la comparación de dichos resultados frente a los obtenidos por el método de correlación convencional de registros en datos sintéticos. Seguidamente se muestran las tablas correspondientes a las profundidades pertenecientes a cada pozo, tanto para las superficies determinadas por el método convencional de correlación (tabla 6.1), como para las de la técnica de análisis de *clusters* (tabla 6.2). De las superficies mostradas en la tabla 6.2, se consideraran como válidas para una comparación aquellas superficies que hayan sido detectadas en al menos cuatro o cinco pozos, a excepción de las superficies que por naturaleza sólo aparecen en un pozo, las cuales serán tomadas como válidas si la técnica las detecta en dicho pozo. La tabla 6.3, destaca en color amarillo las superficies consideradas para la comparación según éste criterio.

Tabla 6.1. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el método convencional, Registros Sintéticos.

Superficies	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
IS13	1003.76	1022.88		992.87	998.03
IS12	1012.77	1031.73	1020.10	1002.04	1008.36
IS11	1018.03	1037.00	1025.04		1016.02
IS10	1024.90	1043.95	1032.06		1026.24
IS8	1030.97	1050.18	1041.32	1020.24	1036.30
IS7_2				1033.27	
IS7_1				1036.62	
IS7	1046.78	1065.82	1063.67	1041.63	1043.64
IS6	1048.22	1067.10	1065.26	1043.22	1045.24
IS5	1054.06	1072.85	1070.85	1048.97	1050.83
IS4	1060.84	1079.87	1077.72	1055.84	1057.54
IS3	1063.39	1082.27	1082.83	1058.39	1059.94
IS2	1070.57	1089.61	1090.17	1065.58	1061.21
IS1	1082.12	1101.27	1101.67	1077.07	1073.03

Tabla 6.2. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de *clusters*, Registros Sintéticos.

Superficies	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
SSUP7 D	1003.50	1022.50		992.50	998.00
SSUP6 1 D					1001.00
SSUP6 D	1012.50	1031.50		1001.50	1008.00
SSUP5 1 D					1020.00
SSUP5 D	1031.00	1050.00	1041.00	1020.00	1036.00
SSUP4 2 D				1033.00	
SSUP4 1 D				1036.50	
SSUP4 D	1046.50	1065.50	1063.50		1043.50
SSUP3 1 D			1065.00		
SSUP3 D	1060.50	1079.50	1077.50	1055.50	1057.50
SSUP2 1 D			1082.50		
SSUP2 D	1070.50	1089.50	1090.00	1065.50	
SSUP1 1 D			1098.00		
SSUP1 D	1082.00	1101.00			

Tabla 6.3. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color amarillo, de la técnica de análisis de *clusters* en el caso de sintéticos.

Superficies	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
SSUP7 D	1003.50	1022.50		992.50	998.00
SSUP6 1 D					1001.00
SSUP6 D	1012.50	1031.50		1001.50	1008.00
SSUP5 1 D					1020.00
SSUP5 D	1031.00	1050.00	1041.00	1020.00	1036.00
SSUP4 2 D				1033.00	
SSUP4 1 D				1036.50	
SSUP4 D	1046.50	1065.50	1063.50		1043.50
SSUP3 1 D			1065.00		
SSUP3 D	1060.50	1079.50	1077.50	1055.50	1057.50
SSUP2 1 D			1082.50		
SSUP2 D	1070.50	1089.50	1090.00	1065.50	
SSUP1 1 D			1098.00		
SSUP1 D	1082.00	1101.00			

Para realizar la comparación entre ambos métodos se estableció la equivalencia entre las superficies encontradas por éstos, la cual es mostrada en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Equivalencias en color amarillo entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de *clusters*, Registros Sintéticos.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Análisis de <i>Clusters</i>
IS13	SSUP7_D
	SSUP6_1_D
IS12	SSUP6_D
IS11	SSUP5_1_D
IS10	
IS8	SSUP5_D
IS7_2	SSUP4_2_D
IS7_1	SSUP4_1_D
IS7	SSUP4_D
IS6	SSUP3_1_D
IS5	
IS4	SSUP3_D
IS3	SSUP2_1_D
IS2	SSUP2_D
	SSUP1_1_D
IS1	SSUP1_D

De la tabla 6.4 se puede observar que existen seis superficies calculadas a partir de la aplicación de esta técnica que tienen equivalencia con las superficies mayores determinadas por la intérprete, adicionalmente existen dos superficies (SSUP4_2_D y SSUP4_1_D) que aún cuando se observan en un solo pozo, son equivalentes a las superficies menores IS7_2 e IS7_1 respectivamente, las cuales por la definición estratigráfica diseñada para los registros sintéticos sólo están presentes en un pozo y la técnica detectó este caso. De manera general, de este primer análisis cualitativo se puede establecer que las superficies obtenidas de la aplicación del análisis de *clusters* se asemejan en un alto grado a las propuestas por la intérprete.

Al comparar la profundidad a la que se encuentran las superficies interpretadas y las profundidades de las superficies calculadas por la técnica en cada pozo se generó una tabla que expresa las diferencias entre ambos valores (tabla 6.5), a

Tabla 6.5. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de *clusters*, Registros Sintéticos.

Superficies por Intérprete	Superficies por <i>Clusters</i>	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
		Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)
IS13	SSUP7 D	0.26	0.38	0.00	0.37	0.03
IS12	SSUP6 D	0.27	0.23	N.D.	0.54	0.36
IS8	SSUP5 D	-0.03	0.18	0.32	0.24	0.30
IS7	SSUP4 D	0.28	0.32	0.17	N.D.	0.14
IS4	SSUP3 D	0.34	0.37	0.22	0.34	0.04
IS2	SSUP2 D	0.07	0.11	0.17	0.08	N.D.

 N.D. = No Detectado  Diferencia mayor a 1 pie

fin de analizar cuantitativamente el índice de similitud de las superficies generadas por el análisis de *clusters* contra las generadas por correlación convencional. En este cálculo sólo se consideraron aquellas superficies, que tuviesen equivalencia con las superficies mayores determinadas por la intérprete y se asumió un nivel de tolerancia de más o menos un pie de diferencia, para asumir que la profundidad del contacto determinado por la técnica es similar al propuesto por la autora en su interpretación.

De la tabla 6.5 se puede observar que de 30 contactos comparados 27 se encuentran en el rango de tolerancia establecido, lo que representa un 90% de similitud entre ambos métodos, considerándose que para este caso el análisis de *clusters* tiene un alto de grado de reconocimiento de las superficies que delimitan secuencias estratigráficas. Conforme a esto, si se considera este mismo análisis por pozo se tiene un 100% de similitud para los pozos SIN01 y SIN02, un 83% de similitud para los pozos SIN03, SIN04 y SIN 05.

La figura 6.2 muestra el histograma de distribución de las diferencias entre las superficies comparadas para el análisis de *clusters* en total y la contribución de cada pozo a este total, con esto se tiene la certeza de que la mayoría de las diferencias entre las superficies se encuentran en un rango de 0 a 0,4 pies. Además se puede observar

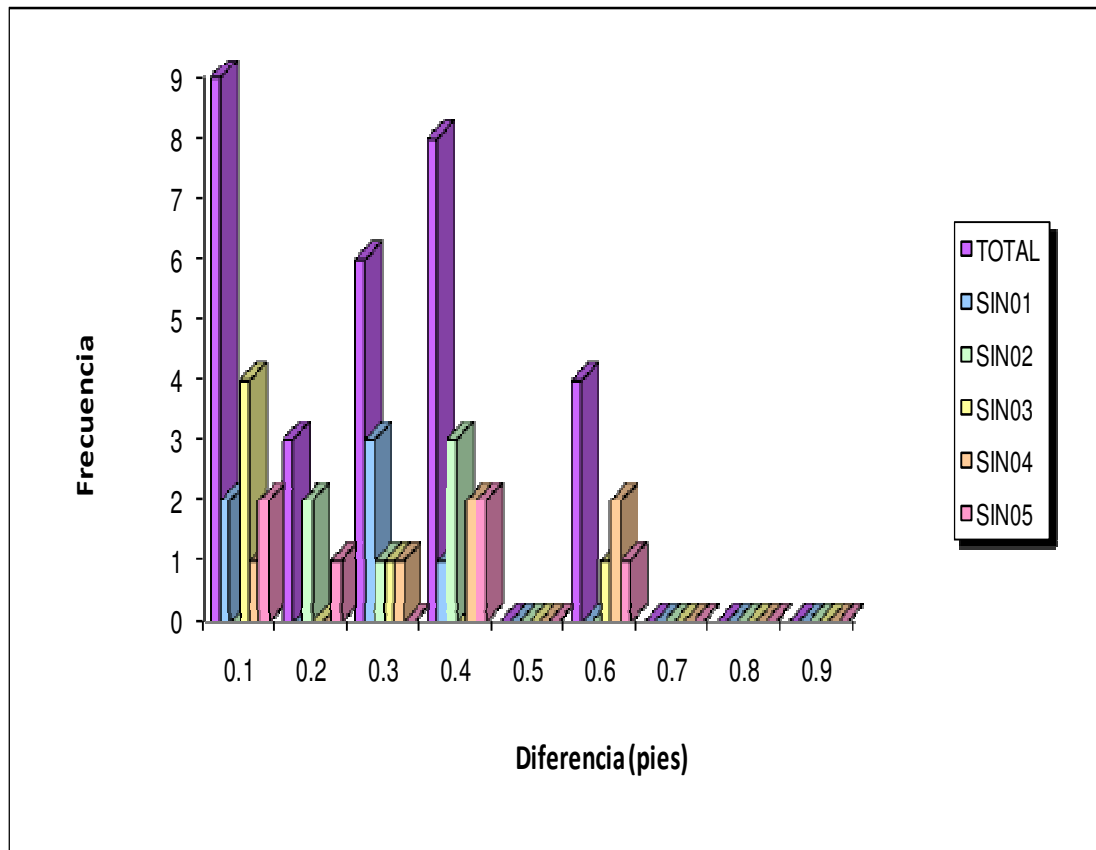


Figura 6.2. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de *clusters* y las interpretadas por correlación convencional, caso de sintéticos.

que el sintético 02 y el 04 son los pozos en los cuales este método presenta las mayores diferencias entre las superficies. Es necesario hacer notar, que para la construcción del histograma de diferencias se tomó en cuenta el valor absoluto de éstas y, además, en los tres casos donde el método no detectó valor para la superficie se le asignó el máximo valor de diferencia encontrado en este análisis, lo cual influyó los valores de la clase correspondiente a diferencias entre 0,5 y 0,6 pies. En los casos donde el método no detectó superficies porque éstas no existían (casillas de color negro) se asignó cero a las diferencias, ya que la técnica coincide con la intérprete en que allí no hay una superficie, no se puede decir la técnica falló.

6.1.2 Análisis de la Varianza

Para esta técnica se procedió a la discusión de resultados de manera similar a la técnica de análisis de *clusters*. Se llegó a un análisis basado en la comparación de los resultados obtenidos con esta técnica con los obtenidos por parte de la intérprete para este caso. A continuación se muestran las tablas que representan las profundidades por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de la varianza (tabla 6.6).

Tabla 6.6. Profundidad establecida por pozo para las superficies correlacionadas por el análisis de la varianza, Registros Sintéticos.

Superficies	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
SSUP8/V	1004.00	1023.00		993.00	999.00
SSUP7/V	1013.00	1032.00		1002.00	1008.50
SSUP6/V	1031.50	1050.50	1041.50	1020.50	1036.50
SSUP5_2/V			1064.00		
SSUP5_1/V			1065.50		
SSUP5_V	1052.00	1071.00			1049.50
SSUP4_V	1061.00	1080.00	1078.00	1056.00	1058.00
SSUP3_1_V			1083.00		
SSUP3_V	1071.00	1090.00	1090.50	1066.00	
SSUP2_1_V			1100.00	1076.50	1073.00
SSUP2_V	1086.50	1105.50			
SSUP1_V				1088.50	1088.00

De la tabla 6.6, se consideraran como superficies válidas para comparación aquellas que se detectaron en cuatro o cinco pozos y no se tomaron en cuenta, las que solo aparecieron en uno, dos o tres pozos, a excepción de aquellas que por carácter de la arquitectura estratigráfica sólo aparecen en un pozo, las cuales serán validadas si la técnica las detecta en dicho pozo. En la tabla 6.7, se resalta en amarillo las superficies que se consideraron para la comparación según éste criterio.

En la tabla 6.8 se establecieron las equivalencias entre las superficies encontradas por la técnica de la varianza y por la correlación de la intérprete, para realizar así la comparación entre ambos procedimientos.

Tabla 6.7. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color amarillo, de la técnica de análisis de la varianza en el caso de sintéticos.

Superficies	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
SSUP8/V	1004.00	1023.00		993.00	999.00
SSUP7/V	1013.00	1032.00		1002.00	1008.50
SSUP6/V	1031.50	1050.50	1041.50	1020.50	1036.50
SSUP5_2/V			1064.00		
SSUP5_1/V			1065.50		
SSUP5_V	1052.00	1071.00			1049.50
SSUP4_V	1061.00	1080.00	1078.00	1056.00	1058.00
SSUP3_1_V			1083.00		
SSUP3_V	1071.00	1090.00	1090.50	1066.00	
SSUP2_1_V			1100.00	1076.50	1073.00
SSUP2_V	1086.50	1105.50			
SSUP1_V				1088.50	1088.00

Tabla 6.8. Equivalencias en color amarillo entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de la varianza, Registros Sintéticos.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Análisis de la Varianza
IS13	SSUP8/V
IS12	SSUP7/V
IS11	
IS10	
IS8	SSUP6/V
IS7_2	
IS7_1	
IS7	SSUP5_2/V
IS6	SSUP5_1/V
IS5	SSUP5_V
IS4	SSUP4_V
IS3	SSUP3_1_V
IS2	SSUP3_V
IS1	SSUP2_1_V
	SSUP2_V
	SSUP1_V

En la tabla 6.8 se observa que hay cinco superficies calculadas a partir de la aplicación de esta técnica que tienen su correspondencia con superficies mayores establecidas por la intérprete. De forma general se puede decir que las superficies

obtenidas por la aplicación de la técnica de análisis de la varianza se asemejan en buena medida a las propuestas por la intérprete.

Comparando la profundidad de las superficies interpretadas con la profundidad de las superficies calculadas para cada pozo se generó la tabla 6.9, la cual trata sobre las diferencias entre ambos valores de profundidad, esto se realizó con el propósito de analizar de forma cuantitativa el grado de similitud entre la sección obtenida con el análisis de la varianza y la correlación convencional. En este cálculo se consideraron únicamente aquellas superficies equivalentes a las superficies determinadas por la intérprete y se definió un rango de tolerancia de más o menos un pie de diferencia, para reconocer que la profundidad del contacto determinado por el método es análoga a la profundidad del contacto propuesto por la autora.

Tabla 6.9. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de la varianza, Registros Sintéticos.

Superficies por Intérprete	Superficies por Varianza	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
		Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)
IS13	SSUP8/V	-0.24	-0.12	0.00	-0.13	-0.97
IS12	SSUP7/V	-0.23	-0.27	N.D.	0.04	0.00
IS8	SSUP6/V	-0.53	-0.32	-0.18	-0.26	-0.20
IS4	SSUP4 V	-0.16	-0.13	-0.28	-0.16	-0.46
IS2	SSUP3 V	-0.43	-0.39	-0.33	-0.42	N.D.



N.D. = No Detectado



Diferencia mayor a 1 pie

En tabla 6.9 se nota que de 25 contactos comparados 23 se encuentran en el rango de tolerancia establecido, representando un 92% de igualdad entre ambos métodos, lo que puede considerarse que para este caso el análisis de la varianza tiene un nivel de reconocimiento de superficies que determinan secuencias estratigráficas considerablemente bueno. Tomando en cuenta este mismo análisis para cada pozo se tiene un 100% de igualdad para el SIN01, SIN02, y SIN04, un 80% de igualdad para los pozos SIN03 y SIN05.

En la figura 6.3 se muestra el histograma de distribución total de las diferencias existentes entre las superficies comparadas en el análisis de la varianza y también el aporte de cada pozo a este total, donde la mayoría de las diferencias entre las superficies se encuentran en un rango de 0 a 0,4 pies. También se observa que el pozo SIN01 y SIN05 son los pozos donde la técnica presenta las diferencias mayores entre las superficies. Para la construcción del histograma se consideró el valor absoluto de las diferencias obtenidas y en los dos casos, donde el método no detectó valor para alguna superficie, se le sustituyó por el máximo valor de diferencia encontrado en este análisis, esto influyó los valores de la clase correspondiente a diferencias entre 0,9 y 1 pie. En el caso donde la técnica no detectó la superficie (casillas de color negro, tabla 6.7), ya que no se tienen datos para analizar porque el registro no cubre el intervalo, se asignó el valor cero a la casilla en la tabla de diferencias 6.9.

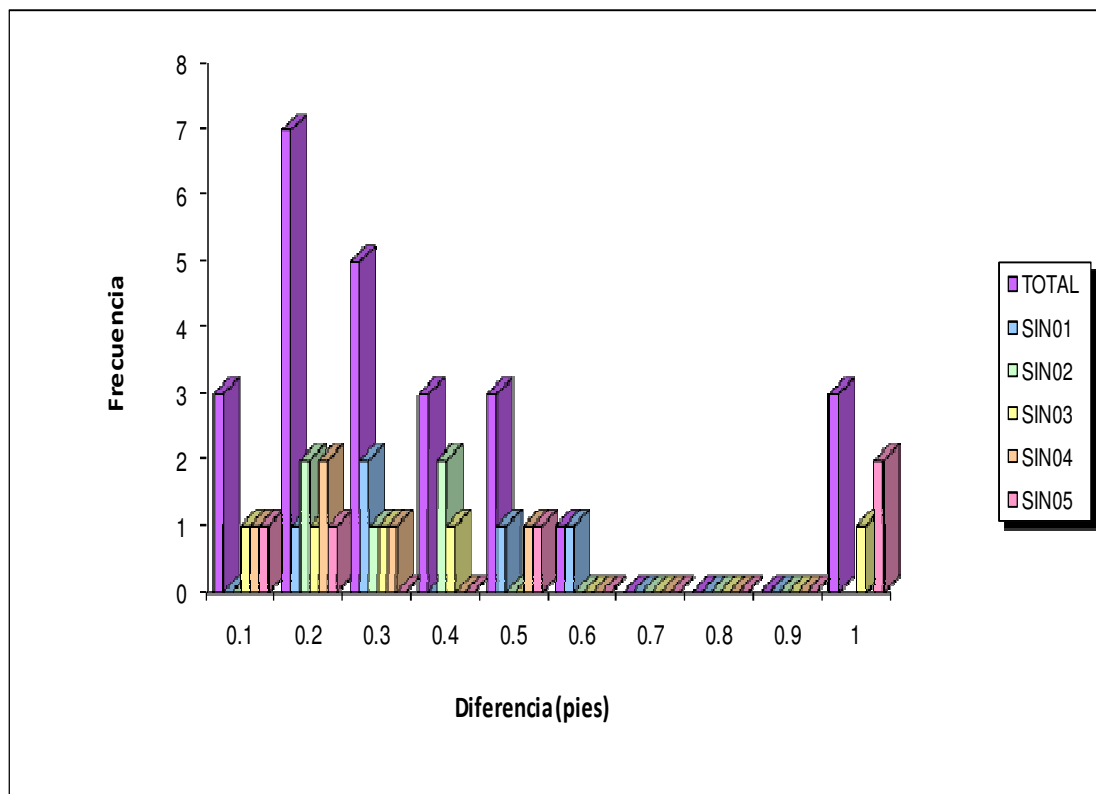


Figura 6.3. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de la varianza y las interpretadas por correlación convencional, caso sintéticos.

6.1.3 Análisis Geométrico

A continuación se presenta la discusión e interpretación de los resultados obtenidos de la aplicación del método de análisis geométrico en datos sintéticos, la cual está fundamentada en la comparación de dichos resultados *versus* los obtenidos por el método de correlación convencional de registros. Se muestra la tabla 6.10 consecuencia de la aplicación del método de análisis geométrico.

Tabla 6.10. Profundidad establecida por pozo para las superficies correlacionadas por el análisis geométrico, Registros Sintéticos.

Superficies	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
SSUP8 1 G					994.00
SSUP8 G	1003.00	1022.00		992.00	1001.00
SSUP7 G	1012.50	1031.50	1019.50	1001.50	1008.00
SSUP6 G	1017.50	1036.50	1024.50		1015.50
SSUP5 G	1024.50	1043.50	1031.50		1025.00
SSUP4 G	1031.00	1050.00	1041.00	1020.00	1036.00
SSUP3 2 G				1033.00	
SSUP3 1 G				1036.50	
SSUP3 G	1046.50	1065.50	1063.50	1041.50	1043.50
SSUP2 G	1051.00	1070.00	1068.00	1046.00	
SSUP1 G			1077.50		

De la tabla 6.10, se validaron como superficies para comparar aquellas que se detectaron en al menos cuatro o cinco pozos, apartando aquellas que se observaron en tres o menos pozos. La tabla 6.11, recalca en color amarillo las superficies que se tomaron en cuenta para la comparación según este criterio. Para efectuar la comparación entre ambos procesos se estableció la semejanza entre las superficies encontradas por éstos, la cual se muestra en la tabla 6.12.

Analizando la tabla 6.12 se puede ver que hay cuatro superficies calculadas por este método que tienen equivalencia con las superficies mayores determinadas por la intérprete con las técnicas convencionales, y además existen tres superficies mayores interpretadas (IS4, IS2, IS1) que el método no detectó en los pozos.

Tabla 6.11. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color amarillo, del método de análisis geométrico en el caso de sintéticos.

Superficies	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
SSUP8_1_G					994.00
SSUP8_G	1003.00	1022.00		992.00	1001.00
SSUP7_G	1012.50	1031.50	1019.50	1001.50	1008.00
SSUP6_G	1017.50	1036.50	1024.50		1015.50
SSUP5_G	1024.50	1043.50	1031.50		1025.00
SSUP4_G	1031.00	1050.00	1041.00	1020.00	1036.00
SSUP3_2_G				1033.00	
SSUP3_1_G				1036.50	
SSUP3_G	1046.50	1065.50	1063.50	1041.50	1043.50
SSUP2_G	1051.00	1070.00	1068.00	1046.00	
SSUP1_G			1077.50		

Tabla 6.12. Equivalencias en color amarillo entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis geométrico, Registros Sintéticos.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Método Geométrico
	SSUP8_1_G
IS13	SSUP8_G
IS12	SSUP7_G
IS11	SSUP6_G
IS10	SSUP5_G
IS8	SSUP4_G
IS7_2	SSUP3_2_G
IS7_1	SSUP3_1_G
IS7	SSUP3_G
IS6	
	SSUP2_G
IS5	
IS4	SSUP1_G
IS3	
IS2	
IS1	

Adicionalmente existen cuatro superficies (SSUP6_G, SSUP5_G, SSUP3_2_G y SSUP3_1_G) que se consideran equivalentes a las superficies menores IS11, IS10, IS7_2 e IS7_1 respectivamente, por lo que es importante notar que ésta técnica detectó éstas superficies con un buen grado de similitud respecto a la interpretación convencional, sin embargo, para mantener el esquema que se ha seguido durante el desarrollo de este trabajo para el cálculo del índice de similitud, éstas superficies equivalentes a superficies consideradas como menores, no serán incluidas en los cálculos de diferencia para esta técnica. Generalizando, de este análisis cualitativo se puede afirmar que las superficies obtenidas de la aplicación del análisis geométrico se asemejan medianamente a las propuestas por la intérprete.

Es por ello, que al comparar por pozo la profundidad a la que se encuentran las superficies interpretadas con la profundidad de las superficies calculadas, se generó una tabla con las diferencias entre ambos valores (tabla 6.13), con la cual se podrá evaluar cuantitativamente el grado de similitud entre la sección obtenida con el análisis geométrico y la correlación convencional. Para esta evaluación se tomaron en cuenta las superficies equivalentes a las superficies determinadas por la intérprete, asignándose un rango de tolerancia de más o menos un pie de diferencia para considerar que la profundidad del contacto establecido por el método, es equivalente a la profundidad del contacto correspondiente a la correlación convencional.

En la tabla 6.13 se observa que de 20 contactos comparados 19 se encuentran en el rango de tolerancia establecido, lo que representa un 95% de similitud entre los dos métodos, para las cuatro superficies analizadas. Luego, si se establece este mismo análisis pozo por pozo se tiene un 100% de similitud para todos los pozos, excepto el SIN05 con 75% de similitud. Sin embargo, es de hacer notar que este método detectó sólo cuatro de las siete superficies mayores, teniendo un 57% de capacidad de detección global de superficies que delimitan secuencias.

Tabla 6.13. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis geométrico, Registros Sintéticos.

Superficies por Intérprete	Superficies por Geométrico	SIN 01	SIN 02	SIN 03	SIN 04	SIN 05
		Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)	Diferencia (pies)
IS13	SSUP8 G	0.76	0.88	0.00	0.87	-2.97
IS12	SSUP7 G	0.27	0.23	0.60	0.54	0.36
IS8	SSUP6 G	-0.03	0.18	0.32	0.24	0.30
IS7	SSUP3 G	0.28	0.32	0.17	0.13	0.14

N.D. = No Detectado
 Diferencia mayor a 1 pie

La figura 6.4 muestra un histograma de distribución que representa las diferencias entre las superficies comparadas para el análisis geométrico en total, y la contribución por pozo a este total. Con lo anterior se comprueba que la mayor parte de las diferencias entre las superficies se encuentran en un rango de 0 a 0,5 pies. Además, se puede observar que el pozo SIN05 es donde este método presenta las mayores diferencias entre superficies. Para la elaboración del histograma se consideró el valor absoluto de las diferencias. Es necesario aclarar que en los dos casos para el cual la técnica no detectó el contacto para el SIN03 y SIN04, se asignó el valor cero en el cálculo de la diferencia.

6.1.4 Análisis General de Resultados para el Caso de Registros Sintéticos

A partir de los resultados obtenidos tras la evaluación de las tres técnicas en datos sintéticos, pudo comprobarse la aplicabilidad de las mismas para la identificación de superficies que delimiten secuencias estratigráficas a partir de registros de pozos. En este caso las técnicas de análisis de *cluster* y análisis de la varianza detectan mayor número de superficies propuestas como mayores, mientras que el método geométrico no hace distingo entre este tipo de superficies y las llamadas menores, razón por la cual en este caso, esta técnica refleja el menor número de superficies mayores detectadas, sin embargo, es importante destacar que la mayoría de las superficies que identifica el método geométrico son consistentes a lo

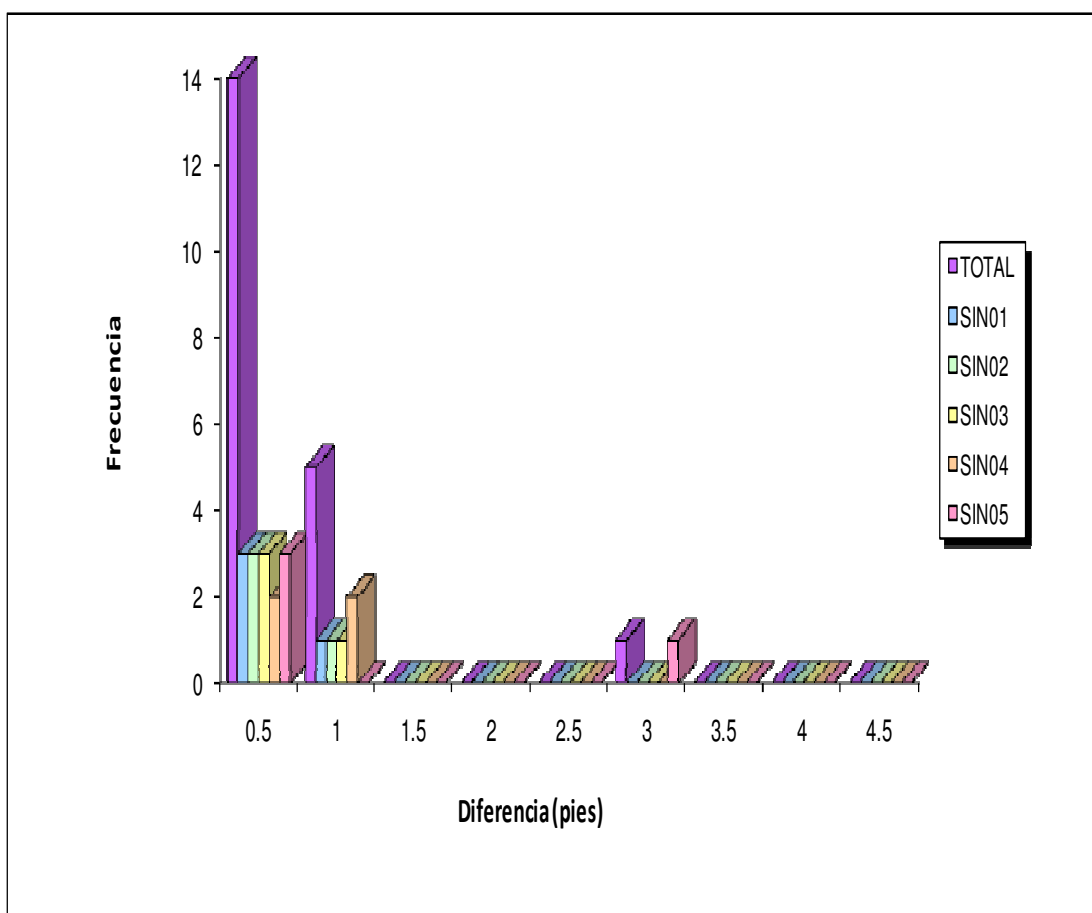


Figura 6.4. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis geométrico y las interpretadas por correlación convencional, caso de sintéticos.

largo de los pozos estudiados, aún cuando se trate de superficies menores.

Tomando como base las siete superficies mayores consideradas para la evaluación de las técnicas, el análisis de cluster es el más efectivo, reconociendo seis de las 7 superficies objeto de estudio, lo que representa un 86% de efectividad para ésta técnica.

Es importante destacar que ninguna de las técnicas aplicadas identifica la superficie IS1, lo que puede dar indicios de que ésta, aunque fue considerada como una superficie mayor por la intérprete, no tiene las características suficientes para ser

considerada como limitante de una secuencia estratigráfica, lo cual representa un punto a favor al evaluar la robustez de la aplicación de técnicas multivariantes para la identificación de secuencias, ya que se demuestra que el análisis estratigráfico realizado con estas técnicas tiene un carácter más cuantitativo, en contraste con el grado de subjetividad propio de las técnicas convencionales de correlación.

6.2 Caso 1. Campo Bloque VIII, Lago de Maracaibo

De la correlación de registros de pozo realizada para el Campo Bloque VIII se proponen 12 superficies que definen 11 secuencias o zonas que según el criterio de la autora constituyen los cambios más significantes de la sección estudiada, y las cuales a su vez constituyen el marco de referencia para la evaluación de las técnicas de estudio aplicadas en este caso. La sección estratigráfica que muestra estas superficies de referencia se incluye en la figura 6.5.

6.2.1 Análisis de *Clusters*

Para el estudio de los resultados obtenidos de la aplicación del análisis de *clusters* en los datos correspondientes a este campo, se llevó a cabo la comparación de dichos resultados contra los obtenidos por el método de correlación convencional de registros. Las tablas correspondientes a las profundidades establecidas por pozo para las superficies correlacionadas por la intérprete, con el método convencional de correlación y las establecidas por el análisis de *clusters*, se muestran en las tablas 6.14 y 6.15 respectivamente.

De la tabla 6.15, se consideraron como superficies válidas para comparar, aquellas que hayan sido detectadas en al menos seis pozos, excepto en aquellos en los que las superficies sean detectables sólo en seis o siete pozos por las técnicas convencionales de correlación, debido a que los registros no alcanzan esas profundidades. En tales casos se consideran válidas para la comparación aquellas su-

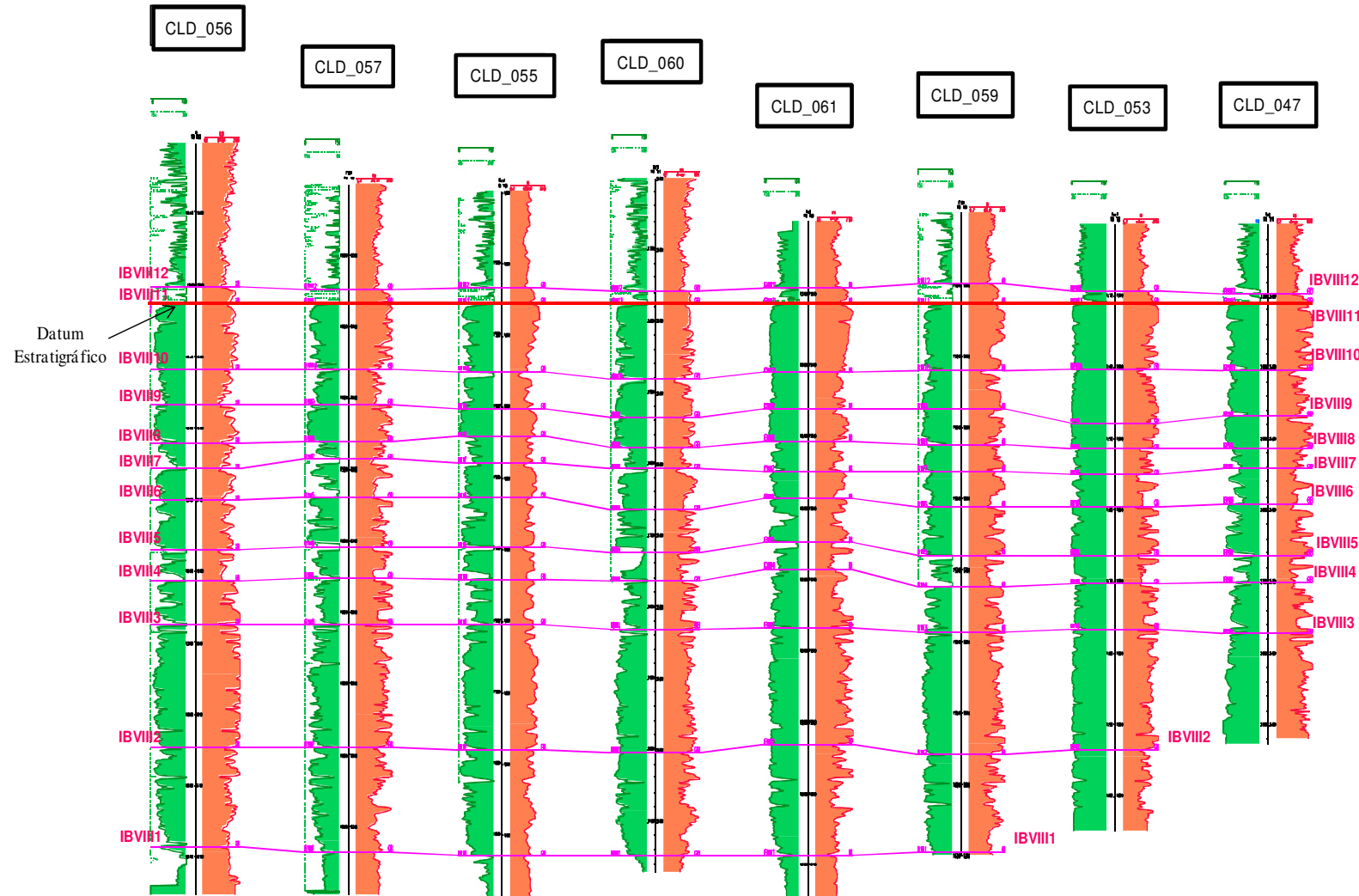


Figura 6.5. Correlación litoestratigráfica realizada aplicando las técnicas convencionales.

Tabla 6.14. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el método convencional, Campo Bloque VIII.

Superficies	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
IBVIII12	15401.63	15347.72	15335.03	15358.39	15292.22	15298.56	15293.14	15295.98
IBVIII11	15425.41	15368.33	15357.23	15376.51	15314.42	15327.10	15310.87	15310.77
IBVIII10	15517.75	15458.71	15452.37	15481.64	15411.14	15421.06	15401.89	15403.79
IBVIII9	15568.12	15509.45	15504.69	15535.02	15460.77	15474.16	15478.01	15468.09
IBVIII8	15620.44	15561.77	15542.75	15577.15	15506.28	15524.62	15514.26	15513.81
IBVIII7	15656.91	15585.56	15579.22	15607.76	15549.09	15561.32	15550.52	15541.92
IBVIII6	15701.24	15639.47	15628.37	15666.10	15587.15	15611.78	15594.73	15590.27
IBVIII5	15769.85	15707.65	15698.14	15724.95	15648.98	15678.33	15662.89	15662.79
IBVIII4	15813.01	15752.45	15742.54	15764.74	15685.45	15723.23	15703.55	15701.24
IBVIII3	15875.18	15817.06	15805.96	15830.85	15768.12	15785.39	15765.60	15772.34
IBVIII2	16045.39	15988.31	15981.97	16004.86	15931.23	15958.86	15934.77	
IBVIII1	16185.00	16135.01	16130.14	16149.65	16086.25	16094.78		

Tabla 6.15. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de *clusters*, Campo Bloque VIII.

Superficies por Clusters	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
BVIIIISUP9 D	15402.50	15352.50	15337.50		15292.50	15302.50		15302.50
BVIIIISUP8 2 D	15427.50		15357.50	15377.50	15317.50	15327.50		
BVIIIISUP8 1 D				15437.50			15342.50	15357.50
BVIIIISUP8 D	15517.50	15457.50	15452.50	15487.50	15402.50	15417.50	15397.50	15397.50
BVIIIISUP7 2 D			15462.50					
BVIIIISUP7 1 D		15517.50			15447.50	15457.50	15477.50	15462.50
BVIIIISUP7 D	15602.50	15562.50	15537.50	15577.50	15507.50	15537.50		15517.50
BVIIIISUP6 5 D	15662.50			15612.50			15545.50	
BVIIIISUP6 4 D						15587.50		15567.50
BVIIIISUP6 3 D		15642.50	15622.50					
BVIIIISUP6 2 D					15607.50			15612.50
BVIIIISUP6 1 D					15627.50		15627.50	
BVIIIISUP6 D	15767.50	15702.50	15697.50	15727.50		15677.50	15657.50	15662.50
BVIIIISUP5 1 D							15678.50	
BVIIIISUP5 D	15812.50	15757.50	15762.50	15767.50	15697.50	15722.50	15702.50	
BVIIIISUP4 2 D								15747.50
BVIIIISUP4 1 D		15807.50						
BVIIIISUP4 D	15922.50	15877.50	15847.50	15862.50	15797.50	15827.50	15792.50	15792.50
BVIIIISUP3 3 D	15962.50							
BVIIIISUP3 2 D						15892.50		15862.50
BVIIIISUP3 1 D	16012.50			15962.50			15907.50	15912.50
BVIIIISUP3 D	16057.50	15982.50	15977.50		15927.50		15947.50	
BVIIIISUP2 1 D				16037.50				
BVIIIISUP2 D		16047.50	16052.50	16062.50	15997.50	15997.50		
BVIIIISUP1 1 D							16017.50	
BVIIIISUP1 D	16182.50	16117.50	16117.50	16147.50	16082.50	16072.50		

perfiles que la técnica aplicada identifica en al menos cinco pozos. En la tabla 6.16, se observa en color verde las superficies consideradas para realizar la comparación según este razonamiento.

Tabla 6.16. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color verde, de la técnica de análisis de *clusters* del Campo Bloque VIII.

Superficies por Clusters	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
BVIIIISUP9 D	15402.50	15352.50	15337.50		15292.50	15302.50		15302.50
BVIIIISUP8 2 D	15427.50		15357.50	15377.50	15317.50	15327.50		
BVIIIISUP8 1 D				15437.50			15342.50	15357.50
BVIIIISUP8 D	15517.50	15457.50	15452.50	15487.50	15402.50	15417.50	15397.50	15397.50
BVIIIISUP7 2 D			15462.50					
BVIIIISUP7 1 D		15517.50			15447.50	15457.50	15477.50	15462.50
BVIIIISUP7 D	15602.50	15562.50	15537.50	15577.50	15507.50	15537.50		15517.50
BVIIIISUP6 5 D	15662.50			15612.50			15545.50	
BVIIIISUP6 4 D						15587.50		15567.50
BVIIIISUP6 3 D		15642.50	15622.50					
BVIIIISUP6 2 D					15607.50			15612.50
BVIIIISUP6 1 D					15627.50		15627.50	
BVIIIISUP6 D	15767.50	15702.50	15697.50	15727.50		15677.50	15657.50	15662.50
BVIIIISUP5 1 D							15678.50	
BVIIIISUP5 D	15812.50	15757.50	15762.50	15767.50	15697.50	15722.50	15702.50	
BVIIIISUP4 2 D								15747.50
BVIIIISUP4 1 D		15807.50						
BVIIIISUP4 D	15922.50	15877.50	15847.50	15862.50	15797.50	15827.50	15792.50	15792.50
BVIIIISUP3 3 D	15962.50							
BVIIIISUP3 2 D						15892.50		15862.50
BVIIIISUP3 1 D	16012.50			15962.50			15907.50	15912.50
BVIIIISUP3 D	16057.50	15982.50	15977.50		15927.50		15947.50	
BVIIIISUP2 1 D				16037.50				
BVIIIISUP2 D		16047.50	16052.50	16062.50	15997.50	15997.50		
BVIIIISUP1 1 D							16017.50	
BVIIIISUP1 D	16182.50	16117.50	16117.50	16147.50	16082.50	16072.50		

Para proceder a la comparación entre uno y otro método se estableció la equivalencia entre las superficies encontradas por éstos, la cual se muestra en la tabla 6.17.

En la tabla 6.17 se puede apreciar que existen siete superficies calculadas a partir de la aplicación de la técnica de análisis de *clusters* que tienen una equivalencia

Tabla 6.17. Equivalencias en color verde entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de *clusters*, Campo Bloque VIII.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Análisis de <i>Clusters</i>
IBVIII12	BVIIIISUP9_D
IBVIII11	BVIIIISUP8_2_D
	BVIIIISUP8_1_D
IBVIII10	BVIIIISUP8_D
	BVIIIISUP7_2_D
IBVIII9	BVIIIISUP7_1_D
IBVIII8	BVIIIISUP7_D
IBVIII7	BVIIIISUP6_5_D
	BVIIIISUP6_4_D
IBVIII6	BVIIIISUP6_3_D
	BVIIIISUP6_2_D
	BVIIIISUP6_1_D
IBVIII5	BVIIIISUP6_D
	BVIIIISUP5_1_D
IBVIII4	BVIIIISUP5_D
	BVIIIISUP4_2_D
	BVIIIISUP4_1_D
IBVIII3	
	BVIIIISUP4_D
	BVIIIISUP3_3_D
	BVIIIISUP3_2_D
	BVIIIISUP3_1_D
IBVIII2	BVIIIISUP3_D
	BVIIIISUP2_1_D
	BVIIIISUP2_D
	BVIIIISUP1_1_D
IBVIII1	BVIIIISUP1_D

con la superficies establecidas por la intérprete, y para complementar se puede notar la existencia de dos superficies calculadas por esta técnica (BVIIIISUP4_D y BVIIIISUP2_D) que a pesar de no tener equivalencia con alguna superficie propuesta por la intérprete, se muestran consistentes y paralelas a superficies interpretadas. En forma general, de este análisis cualitativo se puede concretar que las superficies obtenidas de la aplicación del análisis de *clusters* se asemejan en forma moderada a las propuestas por la intérprete.

Después de comparar en cada pozo la profundidad a la que se encuentran las superficies interpretadas y las superficies calculadas por la presente técnica se construyó una tabla, la cual expresa las diferencias entre ambos valores (tabla 6.18), con la finalidad de analizar de manera cuantitativa el grado de igualdad del análisis de *clusters* con la correlación convencional. De esta forma sólo se tomaron en

consideración para el análisis, las superficies definidas con la técnica que tuviesen equivalencia con las superficies definidas por la intérprete y se determinó un rango de tolerancia de más o menos quince pies de diferencia para considerar, que la profundidad del contacto determinado por el análisis de *clusters* es similar al contacto propuesto por la intérprete.

Tabla 6.18. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de *clusters*, Campo Bloque VIII.

Superficies por Intérprete	Superficies por <i>Clusters</i>	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
		Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)
IBVIII12	BVIIIISUP9 D	-0.87	-4.78	-2.47	N.D	-0.28	-3.94	N.D	-6.52
IBVIII10	BVIIIISUP8 D	0.25	1.21	-0.13	-5.86	8.64	3.56	4.39	6.29
IBVIII8	BVIIIISUP7 D	17.94	-0.73	5.25	-0.35	-1.22	-12.88	N.D	-3.69
IBVIII5	BVIIIISUP6 D	2.35	5.15	0.64	-2.55	N.D	0.83	5.39	0.29
IBVIII4	BVIIIISUP5 D	0.51	-5.05	-19.96	-2.76	-12.05	0.73	1.05	N.D
IBVIII2	BVIIIISUP3 D	-12.11	5.81	4.47	N.D	3.73	N.D	-12.73	0.00
IBVIII1	BVIIIISUP1 D	2.50	17.51	12.64	2.15	3.75	22.28	0.00	0.00



N.D. = No Detectado



Diferencia mayor a 15 pies

De la tabla 6.18 se puede observar que de 56 contactos comparados 46 se encuentran en el rango de tolerancia determinado, lo que representa un 82% de semejanza entre los dos procedimientos, lo que se considera para este campo como un alto de grado de reconocimiento de las superficies que delimitan secuencias estratigráficas, por parte del análisis de *clusters*. Sin embargo, considerando este mismo análisis por pozo se tiene un 86% de equivalencia para los pozos CLD_056, CLD_057, CLD_055, CLD_061, CLD_059 y CLD_047, y un 71% de equivalencia para el pozo CLD_060 y CLD_053.

Posteriormente, el histograma de distribución de las diferencias entre las superficies comparadas para el análisis de *clusters* en total y la contribución por pozo a este total es mostrado en la figura 6.6. De esta forma se comprueba que la mayor parte de las diferencias entre las superficies seleccionadas se encuentran en el rango de 0 a 6 pies. Además, se nota que los pozos CLD_057, CLD_055 y CLD_059 son

aquellos donde se encuentran las mayores diferencias entre las superficies. Se aclara que para realizar el histograma se tomó el valor absoluto de las diferencias y además, en los siete casos donde la técnica no arrojó un valor para alguna superficie, se le fijó el valor de la diferencia más grande encontrada en este análisis, teniendo como consecuencia una influencia en los valores de la clase que representa las diferencias entre 21 y 22,5 pies. Además, en aquellos pozos donde no era posible detectar la superficie por ninguna de las dos técnicas, se asignó el valor cero de diferencia.

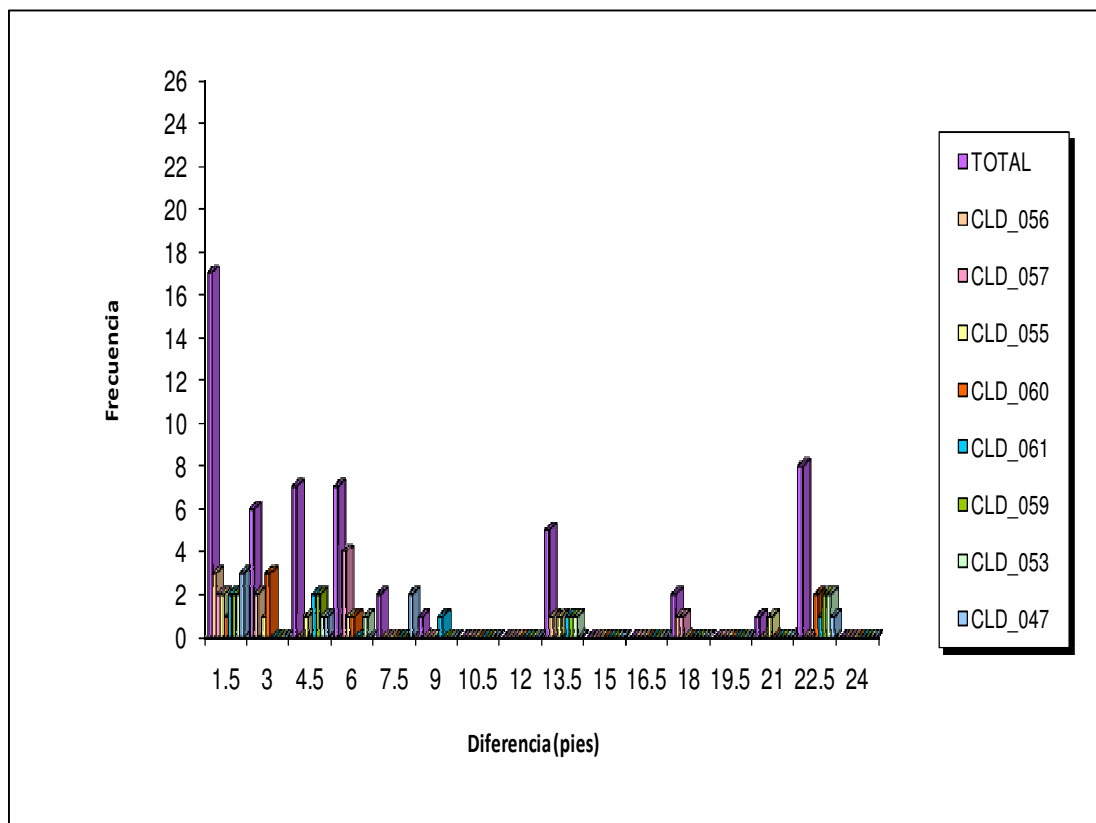


Figura 6.6. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de *Clusters* y las interpretadas por correlación convencional, Campo Bloque VIII.

6.2.2 Análisis de la Varianza

A partir de los resultados obtenidos de la aplicación del análisis de la varianza en los datos correspondientes al Campo Bloque VIII, se procedió a realizar una

comparación entre dichos resultados y los obtenidos por el método de correlación convencional de registros en el presente campo.

Seguidamente se puede observar la tabla 6.19, la cual muestra las profundidades establecidas por pozo para las superficies correlacionadas por el análisis de la varianza.

Tabla 6.19. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de la varianza, Campo Bloque VIII.

Superficies por Clusters	CLD_056 Profundidad (pies)	CLD_057 Profundidad (pies)	CLD_055 Profundidad (pies)	CLD_060 Profundidad (pies)	CLD_061 Profundidad (pies)	CLD_059 Profundidad (pies)	CLD_053 Profundidad (pies)	CLD_047 Profundidad (pies)
BVIIIISUP30/V	15405	15349.5	15341.5	15359.5	15292.5	15302.5	15295.5	15303.5
BVIIIISUP29/V			15358			15335.5		15321.5
BVIIIISUP28/V								15347
BVIIIISUP27/V			15412.5			15384.5		
BVIIIISUP26/V		15446.5						
BVIIIISUP25/V		15458	15451.5			15438		15397.5
BVIIIISUP24/V		15477	15468.5			15448.5		
BVIIIISUP23/V								15478
BVIIIISUP22/V				15576.5	15505		15511.5	
BVIIIISUP21/V	15640.5				15931			
BVIIIISUP20/V	15662.5		15592.5				15547.5	15530
BVIIIISUP19/V							15558	
BVIIIISUP18/V		15611.5					15571	
BVIIIISUP17/V		15641	15636.5	15703.00			15597.5	
BVIIIISUP16/V								15631.5
BVIIIISUP15/V				15725.5		15678.5	15659.5	15664.5
BVIIIISUP14/V	15784.5	15740		15740.5			15675	15682.5
BVIIIISUP13/V	15813.5	15757		15768		15723	15706.5	15707
BVIIIISUP12/V								15719.5
BVIIIISUP11/V	15839							
BVIIIISUP10/V	15871				15746.5	15776		
BVIIIISUP9/V	15887.5							
BVIIIISUP8/V	15923.5		15847			15828.5		
BVIIIISUP7/V	15984				15873.5			
BVIIIISUP6/V				16010	15931			
BVIIIISUP5/V	16057.5		16015.5		15966.5			
BVIIIISUP4/V		16031	16023	16043	15978.5	15993	15933.5	
BVIIIISUP3/V		16067.5	16055.5	16083.5	16021	16017.5		
BVIIIISUP2/V		16080	16075	16108	16034			
BVIIIISUP1/V				16146.5	16083.5			

Para realizar una comparación a partir de las superficies obtenidas en la tabla 6.19, se utilizarán solo aquellas superficies que fueron detectadas por la técnica en no menos de seis pozos. La tabla 6.20, muestra en color verde las superficies consideradas para la comparación según el criterio antes descrito.

Tabla 6.20. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color verde, de la técnica de análisis de la varianza del Campo Bloque VIII.

Superficies por Clusters	CLD 056	CLD 057	CLD 055	CLD 060	CLD 061	CLD 059	CLD 053	CLD 047
Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
BVIIISUP30/V	15405	15349.5	15341.5	15359.5	15292.5	15302.5	15295.5	15303.5
BVIIISUP29/V			15358			15335.5		15321.5
BVIIISUP28/V								15347
BVIIISUP27/V			15412.5			15384.5		
BVIIISUP26/V		15446.5						
BVIIISUP25/V		15458	15451.5			15438		15397.5
BVIIISUP24/V		15477	15468.5			15448.5		
BVIIISUP23/V								15478
BVIIISUP22/V				15576.5	15505		15511.5	
BVIIISUP21/V	15640.5				15931			
BVIIISUP20/V	15662.5		15592.5				15547.5	15530
BVIIISUP19/V							15558	
BVIIISUP18/V		15611.5					15571	
BVIIISUP17/V		15641	15636.5	15703.00			15597.5	
BVIIISUP16/V								15631.5
BVIIISUP15/V				15725.5		15678.5	15659.5	15664.5
BVIIISUP14/V	15784.5	15740		15740.5			15675	15682.5
BVIIISUP13/V	15813.5	15757		15768		15723	15706.5	15707
BVIIISUP12/V								15719.5
BVIIISUP11/V	15839							
BVIIISUP10/V	15871				15746.5	15776		
BVIIISUP9/V	15887.5							
BVIIISUP8/V	15923.5		15847			15828.5		
BVIIISUP7/V	15984				15873.5			
BVIIISUP6/V				16010	15931			
BVIIISUP5/V	16057.5		16015.5		15966.5			
BVIIISUP4/V		16031	16023	16043	15978.5	15993	15933.5	
BVIIISUP3/V		16067.5	16055.5	16083.5	16021	16017.5		
BVIIISUP2/V		16080	16075	16108	16034			
BVIIISUP1/V				16146.5	16083.5			

Para comparar ambos métodos se establecieron las equivalencias entre las superficies encontradas por éstos, la cual se observa en la tabla 6.21.

En la tabla 6.21 se observa la existencia de dos superficies calculadas a partir de la aplicación de la técnica que tienen su equivalencia con las superficies determinadas por la intérprete, además, se puede ver la existencia de dos superficies calculadas por este análisis (BVIIISUP4/V y BVIIISUP3/V) que aunque no tienen equivalencia con ninguna de las superficies propuestas por la intérprete, se muestran constantes, consistentes y paralelas a una de las superficies interpretadas. De este análisis cualitativo puede decirse que las superficies obtenidas son poco consistentes para establecer su correlación lateral a través de varios pozos, dificultando la generación de superficies similares a las propuestas por la intérprete.

Tabla 6.21. Equivalencias en color verde entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de la varianza, Campo Bloque VIII.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Análisis de la Varianza
IBVIII_12	BVIIIISUP30/V
IBVIII_11	BVIIIISUP29/V
	BVIIIISUP28/V
	BVIIIISUP27/V
	BVIIIISUP26/V
IBVIII_10	BVIIIISUP25/V
	BVIIIISUP24/V
IBVIII_9	BVIIIISUP23/V
IBVIII_8	BVIIIISUP22/V
	BVIIIISUP21/V
IBVIII_7	BVIIIISUP20/V
	BVIIIISUP19/V
	BVIIIISUP18/V
IBVIII_6	BVIIIISUP17/V
	BVIIIISUP16/V
IBVIII_5	BVIIIISUP15/V
	BVIIIISUP14/V
IBVIII_4	BVIIIISUP13/V
	BVIIIISUP12/V
	BVIIIISUP11/V
IBVIII_3	BVIIIISUP10/V
	BVIIIISUP9/V
	BVIIIISUP8/V
	BVIIIISUP7/V
IBVIII_2	BVIIIISUP6/V
	BVIIIISUP5/V
	BVIIIISUP4/V
	BVIIIISUP3/V
	BVIIIISUP2/V
IBVIII_1	BVIIIISUP1/V

Al confrontar la profundidad de las superficies interpretadas con la profundidad de las superficies calculadas por el análisis en cada pozo se realizó una tabla, donde se representan las diferencias entre ambos valores (tabla 6.22), para analizar así de forma cuantitativa el grado de semejanza del análisis de la varianza respecto a la correlación convencional por parte de la intérprete. En estos cálculos sólo se consideraron las superficies con equivalencia a las superficies determinadas por la autora, en la interpretación para este campo y se tomó un rango tolerancia de más o menos quince pies de diferencia, para reconocer que la profundidad del contacto determinado por el análisis es equivalente al propuesto por la intérprete.

Tabla 6.22. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de la varianza, Campo Bloque VIII.

Superficies por Intérprete	Superficies por Varianza	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
		Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)
IBVIII12	BVIIIISUP30/V	-3.37	-1.78	-6.47	-1.11	-0.28	-3.94	-2.36	-7.52
IBVIII4	BVIIIISUP13/V	-0.49	-4.55	N.D.	-3.26	N.D.	0.23	-2.95	-5.76

N.D. = No Detectado

En la tabla 6.22, donde se observan 16 contactos comparados, 14 se encuentran en el rango de consideración establecido, representando un 88% de similitud entre los dos análisis, en las dos únicas superficies equivalentes a las interpretadas por métodos convencionales.

En la figura 6.7 se puede observar el histograma de distribución de las diferencias totales de las superficies comparadas para el análisis de la varianza y la contribución de cada pozo para éste total. Los pozos CLD_055, y CLD_047, son aquellos que presentaron las mayores diferencias.

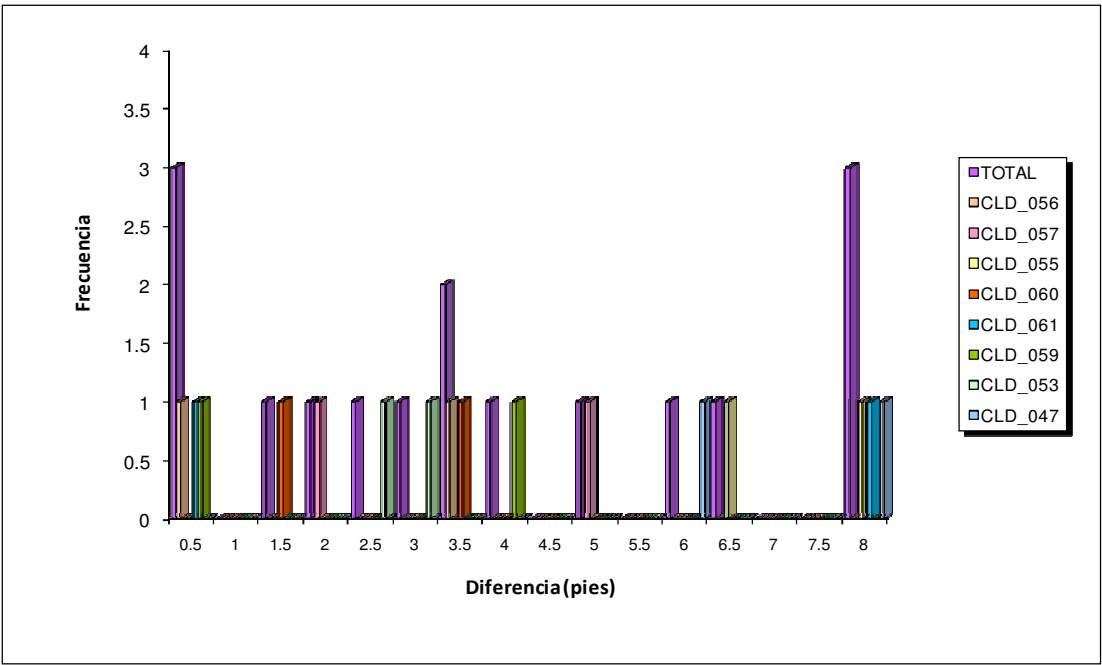


Figura 6.7. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de la varianza y las interpretadas por correlación convencional, Campo Bloque VIII.

6.2.3 Análisis Geométrico

En este apartado se procedió a la discusión de los resultados obtenidos de la aplicación del análisis geométrico en los datos correspondientes al Campo Bloque VIII, basándose en la comparación de dichos resultados con los obtenidos por el método de correlación convencional de registros para el presente campo de estudio.

Seguidamente se muestra la tabla que representa las profundidades determinadas por pozo para las superficies obtenidas por el método de análisis geométrico (tabla 6.23).

Tabla 6.23. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis geométrico, Campo Bloque VIII.

Superficies por Clusters	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
BVIIIISUP30/G	15340	15275	15265	15290	15225	15235.5	15230	15235
BVIIIISUP29/G								15250.5
BVIIIISUP28/G	15365	15310.5	15296	15319	15256.5	15266	15258	15265
BVIIIISUP27/G			15309					
BVIIIISUP26/G						15295		15286.5
BVIIIISUP25/G			15370.5				15335.5	
BVIIIISUP24/G						15372.5		
BVIIIISUP23/G				15442				15381
BVIIIISUP22/G	15501.5	15442.5						
BVIIIISUP21/G						15438		15445
BVIIIISUP20/G	15558						15462.5	15470
BVIIIISUP19/G	15604	15534	15520.5	15556	15484			
BVIIIISUP18/G	15626				15511			15511
BVIIIISUP17/G					15524		15531.5	
BVIIIISUP16/G				15600.5				
BVIIIISUP15/G	15666.5	15608.5	15605.5		15555.5		15565.5	15564.5
BVIIIISUP14/G		15629.5						15580
BVIIIISUP13/G	15710	15650	15649.5			15620.5	15603	15605
BVIIIISUP12/G	15735			15691.5			15629.5	
BVIIIISUP11/G	15778	15702	15690.5	15719.5	15636.5	15666	15644.5	
BVIIIISUP10/G	15790	15717.5	15706	15736	15660	15689	15670.5	
BVIIIISUP9/G				15751		15701		
BVIIIISUP8/G				15771.5	15696.5		15710.5	
BVIIIISUP7/G			15773.5					
BVIIIISUP6/G	15868	15814.5		15827.5		15770		
BVIIIISUP5/G			15853.5					
BVIIIISUP4/G					15916.5	15937	15922.5	
BVIIIISUP3/G		16041.5		16048.5	15986.5	16003.5		
BVIIIISUP2/G					15999			
BVIIIISUP1/G		16074						

De las superficies de la tabla 6.23, se considerarán válidas para un posterior proceso de comparación aquellas que fueron detectadas por la técnica en no menos de seis pozos, el resto de las superficies fueron descartadas. La tabla 6.24, destaca en color verde las superficies que se utilizarán para la comparación según el criterio anterior.

Tabla 6.24. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color verde, de la técnica de análisis geométrico del Campo Bloque VIII.

Superficies por Clusters	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
BVIIIISUP30/G	15340	15275	15265	15290	15225	15235.5	15230	15235
BVIIIISUP29/G								15250.5
BVIIIISUP28/G	15365	15310.5	15296	15319	15256.5	15266	15258	15265
BVIIIISUP27/G			15309					
BVIIIISUP26/G						15295		15286.5
BVIIIISUP25/G			15370.5				15335.5	
BVIIIISUP24/G						15372.5		
BVIIIISUP23/G				15442				15381
BVIIIISUP22/G	15501.5	15442.5						
BVIIIISUP21/G						15438		15445
BVIIIISUP20/G	15558						15462.5	15470
BVIIIISUP19/G	15604	15534	15520.5	15556	15484			
BVIIIISUP18/G	15626				15511			15511
BVIIIISUP17/G					15524		15531.5	
BVIIIISUP16/G				15600.5				
BVIIIISUP15/G	15666.5	15608.5	15605.5		15555.5		15565.5	15564.5
BVIIIISUP14/G		15629.5						15580
BVIIIISUP13/G	15710	15650	15649.5			15620.5	15603	15605
BVIIIISUP12/G	15735			15691.5			15629.5	
BVIIIISUP11/G	15778	15702	15690.5	15719.5	15636.5	15666	15644.5	
BVIIIISUP10/G	15790	15717.5	15706	15736	15660	15689	15670.5	
BVIIIISUP9/G				15751		15701		
BVIIIISUP8/G				15771.5	15696.5		15710.5	
BVIIIISUP7/G			15773.5					
BVIIIISUP6/G	15868	15814.5		15827.5		15770		
BVIIIISUP5/G			15853.5					
BVIIIISUP4/G					15916.5	15937	15922.5	
BVIIIISUP3/G		16041.5		16048.5	15986.5	16003.5		
BVIIIISUP2/G					15999			
BVIIIISUP1/G		16074						

Para efectuar la comparación entre los dos análisis se definió la equivalencia entre las superficies encontradas por éstos, la cual es mostrada en la tabla 6.25.

Tabla 6.25. Equivalencias en color verde entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis geométrico, Campo Bloque VIII.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Método <i>Geométrico</i>
	BVIIISUP30/G
	BVIIISUP29/G
	BVIIISUP28/G
	BVIIISUP27/G
IBVIII_12	BVIIISUP26/G
IBVIII_11	
	BVIIISUP25/G
	BVIIISUP24/G
	BVIIISUP23/G
	BVIIISUP22/G
IBVIII_10	
	BVIIISUP21/G
IBVIII_9	BVIIISUP20/G
	BVIIISUP19/G
IBVIII_8	BVIIISUP18/G
	BVIIISUP17/G
IBVIII_7	BVIIISUP16/G
	BVIIISUP15/G
	BVIIISUP14/G
IBVIII_6	BVIIISUP13/G
	BVIIISUP12/G
IBVIII_5	BVIIISUP11/G
	BVIIISUP10/G
	BVIIISUP9/G
IBVIII_4	BVIIISUP8/G
	BVIIISUP7/G
IBVIII_3	BVIIISUP6/G
	BVIIISUP5/G
IBVIII_2	BVIIISUP4/G
	BVIIISUP3/G
	BVIIISUP2/G
	BVIIISUP1/G
IBVIII_1	
IBVIII2	
	BVIIISUP2_1/G
	BVIIISUP2/G
	BVIIISUP1_1/G
	BVIIISUP1/G
IBVIII1	

De la tabla 6.25 se puede decir que hay dos superficies calculadas a partir del método que tienen equivalencia con las superficies determinadas por la intérprete, adicionalmente también hay cuatro superficies calculadas por este método (BVIIISUP30/G, BVIIISUP28/G, BVIIISUP15/G y BVIIISUP10/G) que no tienen equivalencia con alguna de las superficies propuestas por la interpretación

convencional, pero se muestran continuas y paralelas a una de las superficies interpretadas. De este análisis cualitativo puede decirse que las superficies obtenidas por la aplicación del método de análisis geométrico se asemejan poco a las propuestas por la intérprete.

Luego de haber comparado la profundidad a la que se encuentran las superficies interpretadas con la profundidad de superficies calculadas por cada pozo se creó una tabla, donde se pueden ver las diferencias entre ambos valores (tabla 6.26), con el propósito de estudiar cuantitativamente la igualdad entre el análisis geométrico y la técnica de correlación convencional entre perfiles. Para ello sólo se consideraron aquellas superficies con equivalencia a las superficies determinadas por la intérprete y se definió un rango de tolerancia de más o menos quince pies de diferencia, para certificar que la profundidad del contacto propuesto por la interpretación de la autora es semejante a la determinada por el método actual.

Tabla 6.26. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis geométrico, Campo Bloque VIII.

Superficies por Intérprete	Superficies por Geométrico	CLD_056	CLD_057	CLD_055	CLD_060	CLD_061	CLD_059	CLD_053	CLD_047
		Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)
IBVIII6	BVIIIISUP13/G	-8.76	-10.53	-21.13	N.D.	N.D.	-8.72	-8.27	-14.73
IBVIII5	BVIIIISUP11/G	-8.15	5.15	-7.86	5.45	12.48	12.33	18.39	N.D.

 N.D. = No Detectado

 Diferencia mayor a 15 pies

Observando la tabla 6.26, donde se observan 16 contactos comparados, 11 se encuentran en el rango de consideración establecido, representando un 69% de similitud entre los dos análisis en las dos únicas superficies equivalentes a las interpretadas por métodos convencionales.

En la figura 6.8 se presenta el histograma de distribución de las diferencias entre las superficies comparadas para el análisis geométrico en total y la diferencia individual de los pozos que se aporta a este total. Los pozos CLD_055 y CLD_053 son aquellos donde se presentó la mayor diferencia en el método.

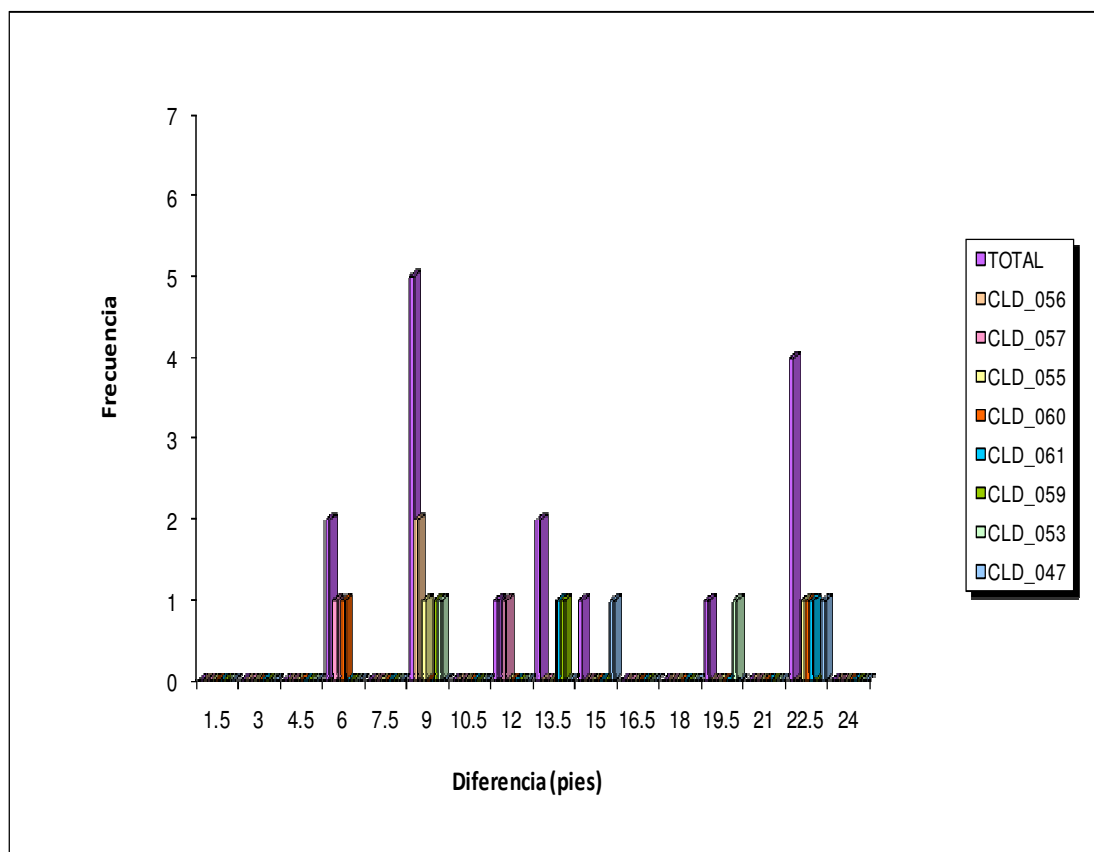


Figura 6.8. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis geométrico y las interpretadas por correlación convencional, Campo Bloque VIII.

6.2.4 Análisis General de Resultados para el Campo Bloque VIII

De las tres técnicas de análisis comparadas con el método de correlación convencional en el Campo Bloque VIII, la técnica de análisis de *clusters* es aquella con la que se obtiene la mayor cantidad de superficies correspondientes a las superficies interpretadas con técnicas convencionales de correlación por parte de la autora, adicionalmente, es la técnica con los menores valores de diferencias

enmarcadas en el intervalo de tolerancia propuesto, para validar la equivalencia de superficies entre estos análisis comparados.

En cuanto a la técnica de análisis de la varianza y el método de análisis geométrico, se observó que mostraron poca consistencia en la detección de superficies que delimitan secuencias estratigráficas, al haber detectado sólo dos de las doce superficies de referencia establecidas para este caso de estudio.

Con lo descrito anteriormente, para el Campo Bloque VIII se considera la técnica de análisis de *clusters* como la que posee mayor igualdad con la técnica de determinación de secuencias estratigráficas, mediante el método convencional de correlación de registros.

6.3 Caso 2. Campo Jobo, Área Mayor de Temblador

La interpretación convencional de registros realizada para este campo arrojó como resultado 12 superficies que delimitan 11 zonas o secuencias que a criterio de la autora constituyen los marcadores más representativos de la sección estudiada (figura 5.14, capítulo V),

6.3.1 Análisis de *Clusters*

Se presenta la discusión de los resultados obtenidos de la aplicación del análisis de *clusters* en los datos correspondientes al Campo Jobo, dicha discusión se basa en la comparación de estos resultados contra los obtenidos por el método de correlación convencional de registros en este mismo campo.

A continuación se muestran las tablas correspondientes a las profundidades establecidas por pozo para las superficies correlacionadas por el método convencional (tabla 6.27) y por el análisis de *clusters* (tabla 6.28).

Tabla 6.27. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el método convencional, Campo Jobo.

Superficies	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
IJ15	3070.23	3118.78	3094.31	3087.21	3107.28
IJ14	3206.62	3238.43	3199.20	3198.47	3214.10
IJ13	3230.10	3267.80	3226.54	3217.23	3233.05
IJ11	3355.68	3391.64	3367.16	3339.09	3361.09
IJ10	3425.27	3462.97	3425.90	3416.64	3430.24
IJ9	3544.91	3588.84	3547.57	3544.68	3551.92
IJ8	3567.92	3616.18	3576.94	3574.05	3577.09
IJ7	3693.50	3729.46	3700.79	3689.50	3698.48
IJ5	3865.95	3849.11	3849.80	3851.10	3885.68
IJ4	3897.50	3863.72	3877.00	3878.30	3900.29
IJ3	3964.62	3930.85	3944.13	3947.60	3994.77
IJ1	4052.73	4018.96	4021.82	4039.90	4074.48

Tabla 6.28. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de *clusters*, Campo Jobo.

Superficies	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
JSUP12 D	3172.50	3237.50	3202.50	3147.50	3212.50
JSUP11 D	3252.50	3272.50	3227.50	3227.50	3267.50
JSUP10 D	3347.50	3377.50	3362.50	3332.50	3342.50
JSUP9 D	3442.50	3462.50		3417.50	3432.50
JSUP8 1 D		3537.50	3482.50	3507.50	
JSUP8 D	3542.50	3587.50	3547.50	3547.50	
JSUP7 D	3567.50	3617.50	3577.50	3577.50	3577.50
JSUP6 1 D					3652.50
JSUP6 D	3667.50	3702.50	3667.50		3697.50
JSUP5 D	3737.50	3757.50	3727.50	3732.50	3732.50
JSUP4 1 D				3812.50	3802.50
JSUP4 D	3867.50		3847.50		
JSUP3 D	3892.50	3867.50	3872.50	3877.50	3897.50
JSUP2 D	3977.50	3927.50	3942.50	3947.50	3962.50
JSUP1 D	4052.50	4017.50	4022.50	4042.50	4072.50

De las superficies mostradas en la tabla 6.28, se considerarán como válidas para una comparación aquellas superficies que hayan sido detectadas en al menos cuatro o cinco pozos, descartando aquellas observadas en uno, dos o tres pozos. La tabla 6.29, destaca en color anaranjado las superficies consideradas para la comparación según este criterio.

Tabla 6.29. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color anaranjado, de la técnica de análisis de *clusters* del Campo Jobo.

Superficies	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
JSUP12_D	3172.50	3237.50	3202.50	3147.50	3212.50
JSUP11_D	3252.50	3272.50	3227.50	3227.50	3267.50
JSUP10_D	3347.50	3377.50	3362.50	3332.50	3342.50
JSUP9_D	3442.50	3462.50		3417.50	3432.50
JSUP8_1_D		3537.50	3482.50	3507.50	
JSUP8_D	3542.50	3587.50	3547.50	3547.50	
JSUP7_D	3567.50	3617.50	3577.50	3577.50	3577.50
JSUP6_1_D					3652.50
JSUP6_D	3667.50	3702.50	3667.50		3697.50
JSUP5_D	3737.50	3757.50	3727.50	3732.50	3732.50
JSUP4_1_D				3812.50	3802.50
JSUP4_D	3867.50		3847.50		
JSUP3_D	3892.50	3867.50	3872.50	3877.50	3897.50
JSUP2_D	3977.50	3927.50	3942.50	3947.50	3962.50
JSUP1_D	4052.50	4017.50	4022.50	4042.50	4072.50

Para realizar la comparación entre ambos métodos se estableció la equivalencia entre las superficies encontradas por éstos, la cual es mostrada en la tabla 6.30.

Tabla 6.30. Equivalencias en color anaranjado entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de *clusters*, Campo Jobo.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Análisis de <i>Clusters</i>
IJ15	
IJ14	JSUP12_D
IJ13	JSUP11_D
IJ11	JSUP10_D
IJ10	JSUP9_D
	JSUP8_1_D
IJ9	JSUP8_D
IJ8	JSUP7_D
	JSUP6_1_D
	JSUP6_D
IJ7	
	JSUP5_D
	JSUP4_1_D
IJ5	JSUP4_D
IJ4	JSUP3_D
IJ3	JSUP2_D
IJ1	JSUP1_D

De la tabla 6.30 se puede observar que existen nueve superficies calculadas a partir de la aplicación de esta técnica, que tienen equivalencia con las superficies determinadas por la intérprete, adicionalmente, se puede observar la existencia de dos superficies (JSUP6_D y JSUP5_D) calculadas por este método que aunque no tienen una equivalencia con alguna de las superficies propuestas por la intérprete, se muestran continuas, consistentes y paralelas a una de las superficies interpretadas (IJ7). En forma general de este primer análisis cualitativo se puede establecer que las superficies obtenidas de la aplicación del análisis de *clusters* se asemejan en buena medida (75%) a las propuestas por la intérprete.

Al comparar la profundidad a la que se encuentran las superficies interpretadas y las superficies calculadas en cada pozo se generó una tabla que expresa las diferencias entre ambos valores (tabla 6.31), a fin de analizar cuantitativamente el grado de similitud del análisis de *clusters* respecto a la correlación convencional. En este cálculo sólo se consideraron aquellas superficies con equivalencia a las superficies determinadas por la intérprete, y se asumió un rango de tolerancia de más o menos diez pies de diferencia para considerar que la profundidad del contacto determinado por el método es similar al propuesto por la intérprete.

Tabla 6.31. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de *clusters*, Campo Jobo.

Superficies por Intérprete	Superficies por <i>Clusters</i>	JOC052 Diferencia (Pies)	JOC054 Diferencia (Pies)	JOC065 Diferencia (Pies)	JOC066 Diferencia (Pies)	JOC053 Diferencia (Pies)
IJ14	JSUP12 D	34.12	0.93	-3.30	50.97	1.60
IJ13	JSUP11 D	-22.40	-4.70	-0.96	-10.27	-34.45
IJ11	JSUP10 D	8.18	14.14	4.66	6.59	18.59
IJ10	JSUP9 D	-17.23	0.47	N.D.	-0.86	-2.26
IJ9	JSUP8 D	2.41	1.34	0.07	-2.82	N.D.
IJ8	JSUP7 D	0.42	-1.32	-0.56	-3.45	-0.41
IJ4	JSUP3 D	5.00	-3.78	4.50	0.80	2.79
IJ3	JSUP2 D	-12.88	3.35	1.63	0.10	32.27
IJ1	JSUP1 D	0.23	1.46	-0.68	-2.60	1.98

N.D. = No Detectado

Diferencia mayor a 10 pies

De la tabla 6.31 se puede observar que de 45 contactos comparados 33 se encuentran en el rango de tolerancia establecido, lo que representa un 73% de similitud entre ambos métodos, lo que puede considerarse que para este campo el análisis de *clusters* tiene un buen grado de reconocimiento de las superficies que delimitan secuencias estratigráficas. Ahora bien, si se considera este mismo análisis por pozo se tiene un 89% de similitud para los pozos JOC054 y JOC06, un 78% de similitud para el pozo JOC066, y un 56% de similitud para los pozos JOC052 y JOC053.

La figura 6.9 muestra el histograma de distribución de las diferencias entre las superficies comparadas para el análisis de *clusters* en total y la contribución de cada pozo a este total, con esto se corrobora que la mayoría de las diferencias entre las superficies se encuentran en un rango de 0 a 5 pies. Además se puede observar que los pozos JOC052 y JOC053 son los pozos en los cuales esta técnica presenta las mayores diferencias entre las superficies.

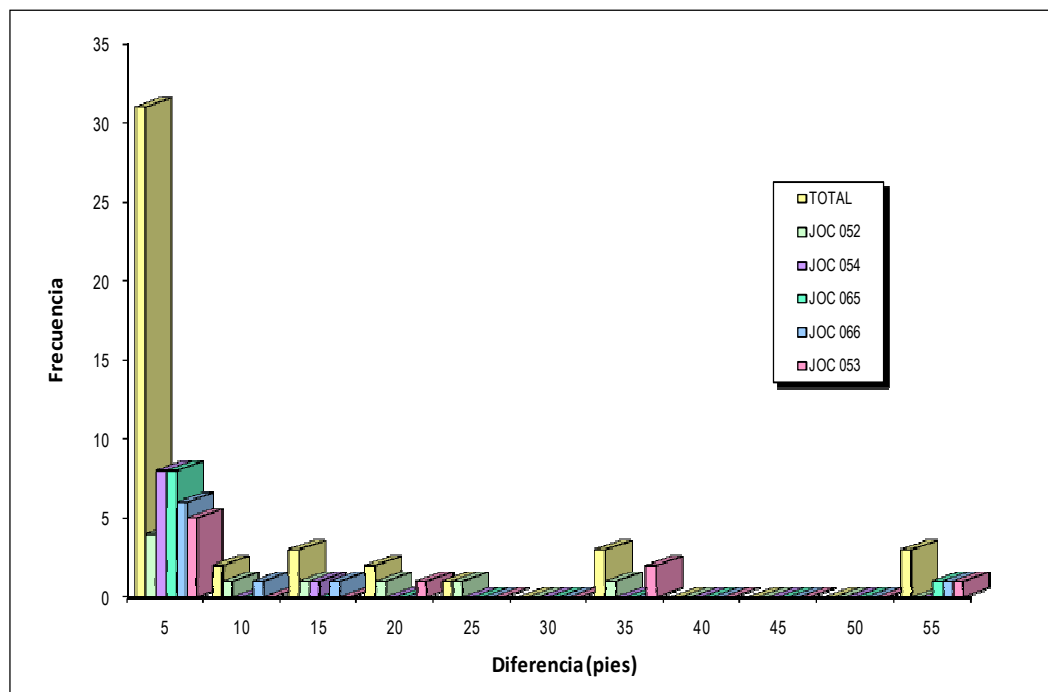


Figura 6.9. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de *clusters* y las interpretadas por correlación convencional, Campo Jobo.

Es necesario aclarar que para la construcción del histograma se tomó en cuenta el valor absoluto de las diferencias y además, en los dos casos donde el método no detectó valor para alguna superficie se le asignó el máximo valor de diferencia encontrado en este análisis, lo cual influyó los valores de la clase correspondiente a diferencias entre 50 y 55 pies.

6.3.2 Análisis de de la Varianza

Se muestra el análisis de los resultados obtenidos de la aplicación del análisis de la varianza en los datos correspondientes al Campo Jobo, donde este análisis está fundamentado en la comparación de dichos resultados con los resultados obtenidos por la técnica de correlación convencional en este campo.

Al punto se muestra la tabla de profundidades por pozo para las superficies correlacionadas por la técnica de análisis de la varianza (tabla 6.32).

Tabla 6.32. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis de la varianza, Campo Jobo.

Superficies	JOC052 Profundidad (pies)	JOC054 Profundidad (pies)	JOC065 Profundidad (pies)	JOC066 Profundidad (pies)	JOC053 Profundidad (pies)
JSUP14/V	3237.50		3229.00	3224.50	3243.50
JSUP13 2/V				3250.50	
JSUP13 1/V		3314.00		3276.50	
JSUP13/V	3339.50		3341.50	3325.50	3345.00
JSUP12 1/V		3391.50		3344.50	3359.50
JSUP12/V	3443.00	3484.00		3435.00	3449.00
JSUP11/V		3536.50	3485.00		3498.50
JSUP10 1/V	3511.00			3509.50	
JSUP10/V	3546.50	3591.00	3548.50	3545.50	3552.00
JSUP9/V	3569.00	3626.00	3581.00	3576.50	3578.50
JSUP8 1/V					3663.00
JSUP8/V	3668.00	3705.50	3671.50	3666.00	3692.00
JSUP7/V	3722.50	3766.00	3755.50	3734.00	3734.00
JSUP6/V	3866.00		3849.50		3886.50
JSUP5/V	3895.50		3878.50		3904.00
JSUP4 1/V	3963.00				
JSUP4/V		3974.00	3985.50		
JSUP3/V		3996.00	4009.00		
JSUP2/V	4052.00	4015.50	4023.50	4042.50	
JSUP1/V		4033.00			

De todas las superficies observadas en la tabla 6.32, se considerarán como superficies válidas para una comparación, las superficies que fueron determinadas en cuatro o cinco pozos, dejando fuera las que sólo aparecieron en tres pozos o menos. La tabla 6.33, señala en color anaranjado las superficies que fueron consideradas para la comparación según lo descrito anteriormente.

Para poder ejecutar la comparación entre ambos análisis se determinó la equivalencia entre las superficies encontradas por éstos, la cual se muestra en la tabla 6.34.

Tabla 6.33. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color anaranjado, de la técnica de la varianza del Campo Jobo.

Superficies	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
JSUP14/V	3237.50		3229.00	3224.50	3243.50
JSUP13 2/V				3250.50	
JSUP13 1/V		3314.00		3276.50	
JSUP13/V	3339.50		3341.50	3325.50	3345.00
JSUP12 1/V		3391.50		3344.50	3359.50
JSUP12/V	3443.00	3484.00		3435.00	3449.00
JSUP11/V		3536.50	3485.00		3498.50
JSUP10 1/V	3511.00			3509.50	
JSUP10/V	3546.50	3591.00	3548.50	3545.50	3552.00
JSUP9/V	3569.00	3626.00	3581.00	3576.50	3578.50
JSUP8 1/V					3663.00
JSUP8/V	3668.00	3705.50	3671.50	3666.00	3692.00
JSUP7/V	3722.50	3766.00	3755.50	3734.00	3734.00
JSUP6/V	3866.00		3849.50		3886.50
JSUP5/V	3895.50		3878.50		3904.00
JSUP4 1/V	3963.00				
JSUP4/V		3974.00	3985.50		
JSUP3/V		3996.00	4009.00		
JSUP2/V	4052.00	4015.50	4023.50	4042.50	
JSUP1/V		4033.00			

Tabla 6.34. Equivalencias en color anaranjado entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis de la varianza, Campo Jobo.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Análisis de la Varianza
IJ15	
IJ14	
IJ13	JSUP14/V
	JSUP13_2/V
	JSUP13_1/V
IJ11	JSUP13/V
	JSUP12_1/V
IJ10	
	JSUP12/V
	JSUP11/V
	JSUP10_1/V
IJ9	JSUP10/V
IJ8	JSUP9/V
	JSUP8_1/V
IJ7	JSUP8/V
	JSUP7/V
IJ5	JSUP6/V
IJ4	JSUP5/V
IJ3	JSUP4_1/V
	JSUP4/V
	JSUP3/V
IJ1	JSUP2/V
	JSUP1/V

De esta tabla (6.34) se puede determinar que hay seis superficies resultantes de la aplicación de esta técnica, que tienen correspondencia con las superficies determinadas por la interpretación realizada con los métodos convencionales de correlación. Igualmente, se puede observar la existencia de tres superficies (JSUP12_1/V, JSUP12/V y JSUP7/V) calculadas por esta técnica, que a pesar de no ser equivalentes con las superficies propuestas por la intérprete en la sección correlacionada para este campo por técnicas convencionales, son constantes y paralelas a algunas de esas superficies interpretadas, finalmente, se observa que existen tres superficies interpretadas que la técnica no detectó en ningún pozo del presente campo. Resumiendo, se puede concretar que de esta comparación cualitativa las superficies obtenidas por el análisis de la varianza son medianamente similares a las propuestas por la autora.

Para comparar la profundidad de las superficies interpretadas con las de las superficies calculadas en cada pozo del campo, se generó una tabla donde se expresan

las diferencias entre ambos valores (tabla 6.35), para evaluar de manera cuantitativa el nivel de similitud del análisis de la varianza con el de la correlación convencional. En este cálculo sólo se consideraron aquellas superficies con equivalencia a las superficies determinadas por la intérprete y se asumió un rango de tolerancia de más o menos diez pies de diferencia, para considerar que la profundidad del contacto determinado por el análisis es similar al propuesto por la intérprete.

Tabla 6.35. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis de la varianza, Campo Jobo.

Superficies por Intérprete	Superficies por Varianza	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
		Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)
IJ13	JSUP14/V	-7.40	N.D	-2.46	-7.27	-10.45
IJ11	JSUP13/V	16.18	N.D	25.66	13.59	16.09
IJ9	JSUP10/V	-1.59	-2.16	-0.93	-0.82	-0.08
IJ8	JSUP9/V	-1.08	-9.82	-4.06	-2.45	-1.41
IJ7	JSUP8/V	25.50	23.96	29.29	23.50	6.48
IJ1	JSUP2/V	0.73	3.46	-1.68	-2.60	N.D

 N.D. = No Detectado  Diferencia mayor a 10 pies

De la tabla 6.35 se observa que de 30 contactos comparados 18 se encuentran en el rango de tolerancia determinado, lo que representa un 60% de similitud entre una y otra técnica, lo que para el análisis de la varianza tiene un nivel medio como reconocedor de superficies delimitadoras de secuencias estratigráficas. No obstante, si este mismo análisis es evaluado por pozo se tiene un 67% de similitud para los pozos JOC052, JOC065 y JOC066, y un 50% de similitud para los pozos JOC054 y JOC053.

A continuación se muestra en la figura 6.10 un histograma de distribución de las diferencias entre las superficies comparadas para el análisis de la varianza en un total y la contribución por pozo para ese total, así se confirma que la mayoría de las diferencias de la tabla 6.35 se encuentran en un rango de 0 a 7,5 pies. Asimismo, se

puede ver que el pozo JOC052 y el pozo JOC065 son los que el método presenta con las mayores diferencias entre las superficies.

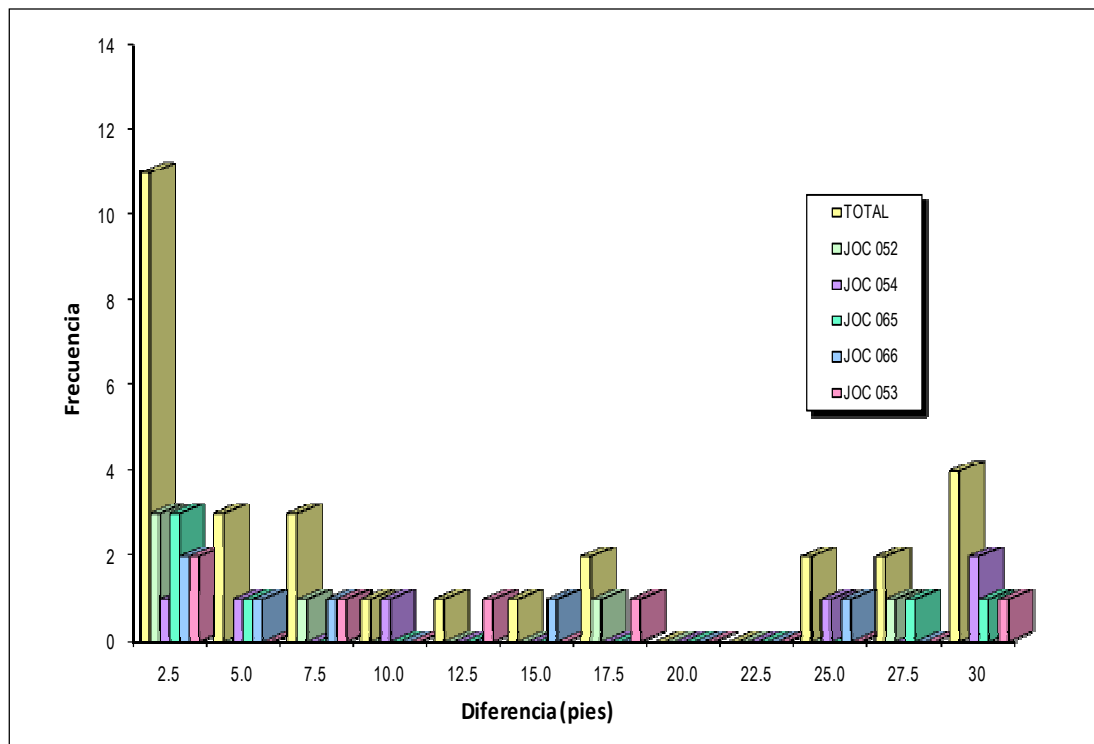


Figura 6.10. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis de la varianza y las interpretadas por correlación convencional, Campo Jobo.

Para la fabricación del histograma de diferencias se tomó en cuenta valor absoluto de las diferencias obtenidas y en los tres casos donde el método no encontró valor para las superficies, se le asignó el máximo valor de la diferencia encontrada en este análisis, lo cual afecta los valores de la clase correspondiente a diferencias entre 27,5 y 30 pies.

6.3.3 Análisis Geométrico

En esta sección se describen y analizan los resultados obtenidos de la aplicación del análisis geométrico en los datos del Campo Jobo, donde se realizará la

comparación de dichos resultados frente a los resultantes del método de correlación convencional de registros en este mismo campo.

De esta manera, se muestra la tabla perteneciente a las profundidades establecidas para cada pozo para las superficies generadas por el método de análisis geométrico (tabla 6.36).

Tabla 6.36. Profundidad por pozo de las superficies correlacionadas por el análisis geométrico, Campo Jobo.

Superficies	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
JSUP16/G		3129.50	3083.50		
JSUP15 1/G		3224.00			
JSUP15/G					3213.00
JSUP14/G	3230.50	3257.50		3217.50	
JSUP13/G	3260.50			3243.00	3264.50
JSUP12/G	3302.00	3324.00	3298.00	3288.00	3290.50
JSUP11 4/G					3315.50
JSUP11 3/G		3382.00	3344.50		
JSUP11 1/G			3374.50		
JSUP11/G		3482.00		3431.50	
JSUP10/G	3451.00			3446.50	3458.00
JSUP9/G	3474.00	3521.50	3477.00	3469.50	
JSUP8 1/G	3489.50			3484.50	
JSUP8/G	3508.50		3512.00	3504.50	3516.00
JSUP7 1/G			3532.00		3536.50
JSUP7/G	3558.50	3600.00	3563.50	3560.00	3563.00
JSUP6/G	3675.00	3709.00	3652.00		
JSUP5/G	3698.00	3732.00	3697.00	3694.50	3701.50
JSUP4 1/G	3714.50				
JSUP4/G			3794.00	3786.00	3808.50
JSUP3/G	3868.00		3851.50	3854.00	
JSUP2/G		3860.50			3896.00
JSUP1/G		3990.00			4022.00

De las superficies mostradas en la tabla 6.36, se consideran válidas para una comparación las que fueron divisadas en al menos cuatro o cinco pozos, suprimiendo aquellas identificadas en tres pozos o menos. La tabla 6.37, muestra en color anaranjado las superficies aptas para la comparación según este criterio.

Para realizar la comparación entre los dos métodos de análisis se estableció la equivalencia entre las superficies encontradas por éstos, lo cual se muestra en la tabla 6.38.

Tabla 6.37. Superficies consideradas para el análisis comparativo en color anaranjado, del método de análisis geométrico del Campo Jobo.

Superficies	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)	Profundidad (pies)
JSUP16/G		3129.50	3083.50		
JSUP15_1/G		3224.00			
JSUP15/G					3213.00
JSUP14/G	3230.50	3257.50		3217.50	
JSUP13/G	3260.50			3243.00	3264.50
JSUP12/G	3302.00	3324.00	3298.00	3288.00	3290.50
JSUP11_4/G					3315.50
JSUP11_3/G		3382.00	3344.50		
JSUP11_1/G			3374.50		
JSUP11/G		3482.00		3431.50	
JSUP10/G	3451.00			3446.50	3458.00
JSUP9/G	3474.00	3521.50	3477.00	3469.50	
JSUP8_1/G	3489.50			3484.50	
JSUP8/G	3508.50		3512.00	3504.50	3516.00
JSUP7_1/G			3532.00		3536.50
JSUP7/G	3558.50	3600.00	3563.50	3560.00	3563.00
JSUP6/G	3675.00	3709.00	3652.00		
JSUP5/G	3698.00	3732.00	3697.00	3694.50	3701.50
JSUP4_1/G	3714.50				
JSUP4/G			3794.00	3786.00	3808.50
JSUP3/G	3868.00		3851.50	3854.00	
JSUP2/G		3860.50			3896.00
JSUP1/G		3990.00			4022.00

Tabla 6.38. Equivalencias en color anaranjado entre las superficies encontradas por el método convencional y el análisis geométrico, Campo Jobo.

Superficies por Método Convencional	Superficies por Método Geométrico
IJ15	JSUP16/G
	JSUP15_1/G
IJ14	JSUP15/G
IJ13	JSUP14/G
	JSUP13/G
	JSUP12/G
	JSUP11_4/G
	JSUP11_3/G
IJ11	JSUP11_1/G
IJ10	
	JSUP11/G
	JSUP10/G
	JSUP9/G
	JSUP8_1/G
	JSUP8/G
IJ9	JSUP7_1/G
IJ8	JSUP7/G
	JSUP6/G
IJ7	JSUP5/G
	JSUP4_1/G
	JSUP4/G
IJ5	JSUP3/G
IJ4	JSUP2/G
IJ3	
	JSUP1/G
IJ1	

En la tabla 6.38 se puede observar que existen sólo dos superficies calculadas a partir de la aplicación de este método que tienen su equivalencia con las superficies determinadas por la intérprete, en adición a esto se nota la existencia de tres superficies (JSUP12/G, JSUP9/G y JSUP8/G) calculadas por este análisis, que aunque no tienen una equivalencia con alguna de las superficies supuestas por la intérprete, se muestran continuas, consistentes y paralelas a algunas de las superficies interpretadas. Como producto de este análisis cualitativo se puede determinar que las superficies obtenidas de la aplicación del análisis geométrico se asemejan poco a las propuestas por la intérprete.

Confrontando la profundidad a la que se encuentran las superficies interpretadas con las superficies calculadas en cada pozo se construyó una tabla que expresa las diferencias entre ambos valores (tabla 6.39), con la finalidad de evaluar cuantitativamente el grado de similitud del análisis geométrico respecto a la correlación convencional. Para este cálculo se consideraron sólo aquellas superficies con equivalencia a las superficies determinadas por la intérprete, asumiéndose un intervalo de tolerancia de más o menos diez pies de diferencia, para considerar que la profundidad del contacto determinado por el método es equivalente a la del contacto propuesto por la intérprete.

Tabla 6.39. Diferencias entre las superficies interpretadas y las superficies calculadas por el análisis geométrico, Campo Jobo.

Superficies por Intérprete	Superficies por Geométrico	JOC052	JOC054	JOC065	JOC066	JOC053
		Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)	Diferencia (Pies)
IJ8	JSUP7/G	9.42	16.18	13.44	14.05	14.09
IJ7	JSUP5/G	-4.50	-2.54	3.79	-5.00	-3.02



Diferencia mayor a 10 pies

En la tabla 6.39 se puede ver que de 10 contactos comparados solo 6 se encuentran en el intervalo de tolerancia establecido, lo que representa un 60% de similitud entre ambos métodos, en las dos únicas superficies equivalentes a las interpretadas por métodos convencionales.

La figura 6.11, mostrada a continuación, representa el histograma de distribución de las diferencias entre las superficies comparadas para el análisis geométrico en total y el aporte de cada pozo a este total.

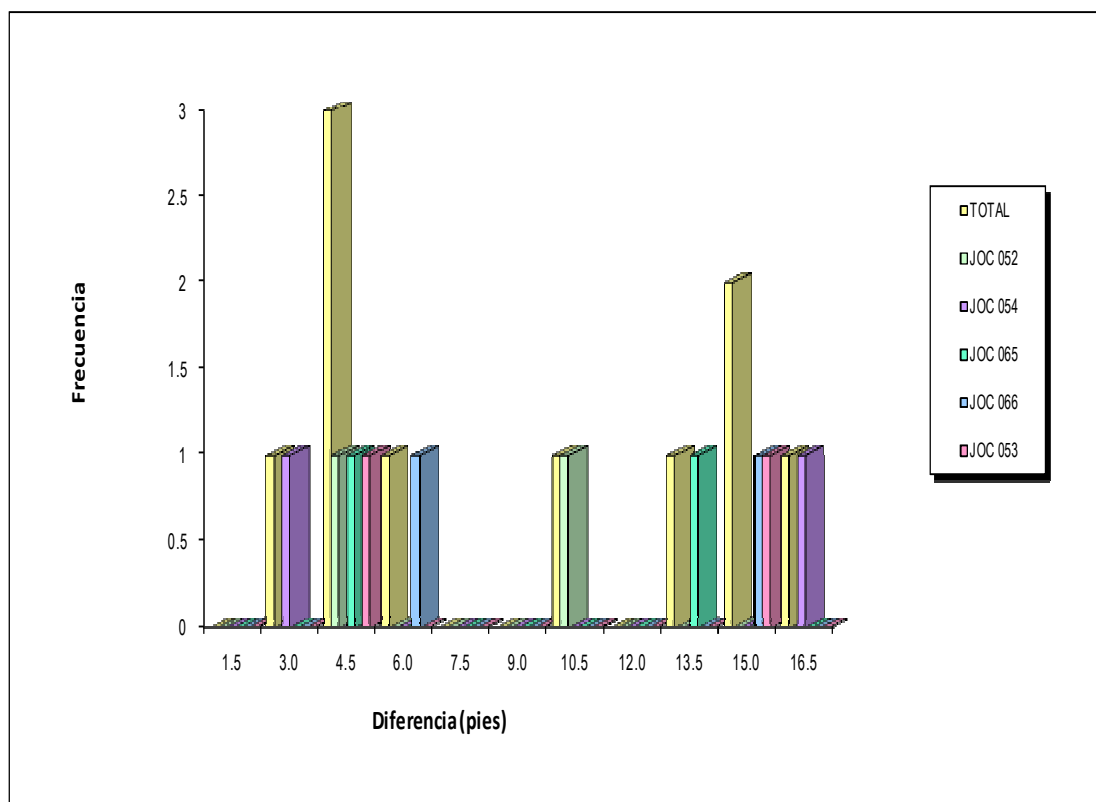


Figura 6.11. Histograma de distribución de las diferencias entre las superficies calculadas por el análisis geométrico y las interpretadas por correlación convencional, Campo Jobo.

6.3.4 Análisis General de Resultados para el Campo Jobo

Para el presente campo, la técnica de análisis de *clusters* determinó la máxima cantidad de superficies equivalentes a las superficies obtenidas por parte de la intérprete con la técnica convencional, y se ponderó en segundo lugar en cuanto a las diferencias obtenidas en la comparación con el análisis convencional de registros. El método geométrico es el de menor aporte en la búsqueda de superficies calculadas equivalentes con las interpretadas.

Sintetizando, se puede decir que la técnica de análisis de *cluster* es la que tiene mayor índice de similitud con la técnica de correlación convencional para la determinación de secuencias estratigráficas en el Campo Jobo, reconociendo nueve de las doce superficies objeto de estudio, lo que representa un 75% de efectividad para esta técnica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Mediante el estudio de las diferentes técnicas estadísticas multivariantes existentes, se pudieron seleccionar algunas de ellas que permitieron lograr los objetivos planteados, ellas fueron el Análisis de *Clusters*, el Análisis de la Varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés), y el Método de Análisis Geométrico de Registros de Pozo. Asimismo, en el análisis de la varianza y en el método de análisis geométrico, se utilizó la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés).
- Para el caso de registros sintéticos, el método de análisis de *clusters* es el que determina la mayor cantidad de superficies correlacionadas coincidentes con las superficies interpretadas, y a su vez es el que proporciona los menores índices de diferencia relacionados con el rango de tolerancia establecido para determinar las equivalencias entre las superficies.

Es por ello que el **análisis de *clusters*** se pudo definir con un 86% como la técnica que más se asemejaba a la correlación litoestratigráfica, mediante técnicas convencionales de correlación de registros de pozo, donde se tomó como base de comparación las siete superficies mayores consideradas para la evaluación de las técnicas, y donde se reconocieron seis de esas 7 superficies.

El análisis de geométrico quedó como una tercera opción de aplicación en cuanto al grado de similitud entre éste y el análisis realizado por la intérprete. No obstante, las superficies que identifica este método fueron consideradas consistentes a lo largo de los pozos estudiados, aún cuando se

trataron de superficies llamadas menores a las siete superficies mayores consideradas para la evaluación de las técnicas en este caso.

Finalmente, ninguna de las técnicas aplicadas identificó la superficie IS1, considerada como una superficie mayor por la intérprete, pero que carecía de características suficientes para considerarla como un límite de secuencia estratigráfica. Esto representa positivamente la precisión de la aplicación de técnicas multivariantes para la identificación de secuencias, demostrando que el análisis multivariante tiene un carácter menos subjetivo y más cuantitativo, que el de las técnicas convencionales de correlación.

- Para el Campo Bloque VIII la técnica que más coincidió con el análisis de superficies, mediante el método convencional de correlación en la definición de secuencias estratigráficas, fue la técnica de **análisis de clusters** con un 59% de similitud entre las superficies de los dos análisis, ya que ésta es la que determinó el mayor número de superficies equivalentes a las de la interpretación de la autora, con el menor número de diferencias enmarcadas en el rango de tolerancia establecido, para determinar la correspondencia entre las superficies de una y otra técnica.

El método geométrico y el análisis de la varianza determinaron la misma cantidad de superficies semejantes (dos de las doce superficies de referencia) a las interpretadas con el método convencional de correlación. Sin embargo, cabe destacar que ambos métodos determinaron otras superficies no consideradas como superficies o límites mayores por la autora, las cuales se consideraron consistentes a lo largo de los pozos de estudio. El método de la varianza arrojó valores menores de diferencias entre superficies calculadas y las interpretadas en comparación con el método geométrico, que fue el método que arrojó los valores de diferencias más altos.

- En el Campo Jobo, con un 75% de similitud entre las superficies calculadas contra las interpretadas, también se determinó el **análisis de clusters** como la técnica que más concordó con el análisis de superficies, mediante las técnicas convencionales de correlación para la determinación de secuencias estratigráficas, y se ponderó en tercer lugar en cuanto a la magnitud de las diferencias obtenidas en la comparación entre una y otra técnica, ya que representó las mayores diferencias dentro del rango permitido para considerar una superficie equivalente a la interpretada por la autora.

El análisis de la varianza arrojó los menores valores en el rango de diferencias que determinan que un límite de secuencia calculado es equivalente a uno interpretado, por lo que se ponderó en segundo lugar como opción de análisis para determinar secuencias estratigráficas, ya que determinó menos superficies equivalentes que el análisis de *clusters*.

En cuanto al método geométrico, fue el que detectó la menor cantidad de superficies correspondientes con las interpretadas, aunque representó diferencias menores a las de las superficies determinadas por el análisis de *clusters*.

Es de hacer notar que ambos métodos determinaron la misma cantidad de superficies consideradas como superficies o límites menores, las cuales fueron consistentes en todos los pozos de estudio.

- En general, se concluye que para la determinación de secuencias estratigráficas equivalentes a las interpretadas con las técnicas de correlación convencional, el **análisis de clusters** se considera como una primera opción de aplicación para los tres casos estudiados: datos sintéticos, rocas clásticas y rocas carbonáticas.

Recomendaciones

- En cuanto al método de la varianza, se recomienda usarlo en segunda opción como método para reconocer secuencias estratigráficas, tanto en el caso de registros sintéticos como en el caso de tener rocas carbonáticas y rocas clásticas; mientras que el método de análisis geométrico se debería tomar como tercera opción, ya que caracterizó más superficies menores que las superficies de referencia consideradas como mayores por parte de la intérprete.
- También, es recomendable para trabajos posteriores con afinidad al presente tema, que en el caso de usar el análisis de *clusters*, se trabaje con el método de agrupamiento de la mediana y el coeficiente de similitud de *Gower*, ya que son los que proporcionan la mejor resolución gráfica del dendograma que arroja la técnica, además, de ser los que mejor se adaptan al tipo de datos utilizados.
- Si en un futuro se necesitase trabajar con un intervalo de estudio de profundidad mucho mayor o con el registro completo, se recomienda dividir dicho intervalo o registro en varios bloques, ya que el paquete utilizado para el análisis de *clusters* (*MVSP*) sólo trabaja con un intervalo máximo de 500 muestras.
- En el método de análisis geométrico se observó que con los resultados arrojados en la búsqueda de sólo los doce primeros contactos de posibles secuencias, la parte inferior de la sección de registros quedaba casi sin estudiar, viéndose que los contactos calculados se determinan en orden estratigráfico, por lo que, si se desea abarcar completamente la sección de estudio, se recomienda buscar más de doce contactos.

- Para el análisis de la varianza, se observó en los datos reales principalmente del Campo Bloque VIII, que los resultados obtenidos dividían la sección en prácticamente tres zonas, recomendándose que si se desea abarcar más el estudio de la sección, quizás se deberán buscar más que simplemente los doce primeros contactos, que determinan las secciones estratigráficas características de las variaciones de la curva más notables en el pozo de estudio.

BIBLIOGRAFÍAS

- Aldas, J., y Uriel, E. (2006). Análisis multivariante aplicado: Aplicaciones al marketing, investigación de mercados, economía, dirección de empresas y turismo. Publicado por Thomson, España. 531 p.
- Almarza R. (1997). Área Mayor de Temblador. Campos Petrolíferos de Venezuela, Código Geológico de Venezuela. PDVSA-Intevep. Disponible: <http://www.pdvsa.com/lexico/camposp/cp049.htm> [Consulta: 2008, Febrero 11]
- Alzate, G., Branch, J., Suárez. O., y Vega, C. (2006). Correlación de Registros entre Pozos con Redes Neuronales Artificiales Utilizando Múltiples Curvas o Variables Registradas. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Escuela de Procesos y Energía, Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Barreto, J. (2004). Reconocimiento de Litofacies aplicando atributos sísmicos y métodos de clasificación guiada en las parcelas 362-7/362-8/362-9/362-10 del Campo jobo, área mayor de Temblador, estado Monagas. Trabajo especial de grado Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Barrio, J., y Valqui T. (2004). Determinación de Índices Medioambientales por medio del Monitoreo de Aves en el Área de Influencia de la Mina Antamina, *Domus* Consultoría Ambiental. Lima, Perú. Disponible: <http://www.antamina.com/03ambiente/docs/informefinalaves2004.pdf> [Consulta: 2008, Marzo 14]
- Becerra, A. (2004). Evolución Molecular y Bioinformática UNAMBioinformática. Disponible: www.bacteria.fciencias.unam.mx/Bioinformatica/EvoMol.html [Consulta: 2007, Noviembre 18]

- Cabrero, J., y Martínez, M. (s.f.). Tipos de Variables. Disponible: http://perso.wanadoo.es/aniorte_nic/apunt_metod_investigac4_4.htm [Consulta: 2008, Diciembre 14]

- Chávez, E., y López, N. (2005). Caracterización de los municipios de la provincia de Lima usando los indicadores de gestión municipal mediante análisis factorial y análisis cluster. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Publicación: Lima, Perú. Disponible: www.sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/chavez_re/cap5.pdf [Consulta: 2007, Diciembre 14]

- Di Croce, J. (1995). "Eastern Venezuela Basin: Sequence Stratigraphy and Structural Evolution". Trabajo de ascenso PhD. Inédito. *Rice University*. Houston Texas.

- Doveton, J. (1994). "Multivariate Pattern Recognition and Classification Methods". *AAPG Computer Application in Geology No. 2, Kansas Geological Survey, University of Kansas*. Lawrence, Kansas, U.S.A., Capítulo 4. Págs. 65-95.

- Dresser Atlas. (1974). Introducción al Perfilaje. Dresser Industries, Inc. U.S.A. 163 p.

- Falla, E. (2005). Interpretación de Registros de Pozos de Petróleo. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Publicación: Lima, Perú. Disponible: www.sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Basic/falla_ve/falla_ve.htm [Consulta: 2008, Marzo 26]

- Fernández, J. (s.f.). Tipos de Variable Estadísticas. Disponible: http://www.vitutor.com/estadistica/descriptiva/a_2.html [Consulta: 2008, Diciembre 16]

- Ganzo, A. (2003). Análisis de Datos Multivariantes. Introducción al Análisis Multivariante. Disponible: <https://www.apuntesadades.pdf> [Consulta: 2008, Diciembre 15]

- Ganzo, A. (2004). Análisis de Componentes Principales. Métodos Estadísticos para Economía y Gestión. IN 540. Disponible: https://www.ucursos.cl/ingenieria/2008/1/IN58B/1/material_docente/objeto/169157 [Consulta: 2008, Diciembre 13]

- Giffuni, G., González, C., Lugo, J., Mederos, A., y Rojas, P. (1994). Estratigrafía secuencial de la sección Eoceno (Formación Misoa) en la costa oriental del lago de la Cuenca de Maracaibo. MEM. V Simposio Bolivariano, Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas. Págs. 62-64.

- González. de Garibay, V. (2006). Clasificación Automática / Análisis Cluster. Disponible: www.eio.uva.es/~valentin/ad3d/anadat/transp/cluster3.doc [Consulta: 2007, Noviembre 24]

- González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J., y Picard, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ed. Foninves. 2 tomos, Caracas. 1031 p.

- Ibáñez, R. (s.f.). Matemáticas: Variables estadísticas. Disponible: http://www.hiru.com/es/matematika/matematika_05700.html [Consulta: 2008, Diciembre 17]

- Landa, A. (2004). Diseño de un Algoritmo para la Visualización y Procesamiento Automatizado de Registros de Pozo. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Simón Bolívar, Sartanejas.

- Larrañaga, P., Inza, I., y Moujahid, A. (s.f.). Tema 14. Clustering. Disponible: <http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t14clustering.pdf> [Consulta: 2008, Enero 27]

- Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela. (1999). Léxico Estratigráfico de Venezuela (LEV). Editado por el Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (CIEN). PDVSA-Intevep. Versión Multimedia (CD), última actualización: Marzo, 1999.

- Lim, J., Kang, J., y Kim, J. (1997). "Multivariate Statistical Analysis for Automatic Electrofacies Determination from Well Log Measurements". *Society of Petroleum Engineers Inc. SPE 38028*. Kuala Lumpur, Malaysia. Págs. 109-113.

- Llamedo, M., Cabrera J., Zerpa L. (1997). Estudio Integrado de un área del yacimiento Morichal-01 para la ubicación de un pozo horizontal; aplicación caso real. Informe Técnico, PDVSA Intevep, S.A. 198 p.

- Marin, J. M. (2006). Introducción al Análisis Multivariante y al Cálculo Matricial. Disponible: http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/A_Mult/tema1am.pdf [Consulta: 2007, Noviembre 15]

- Nieto, L. (2006). Análisis Multivariado. Curso de Diplomado de Estadística Aplicada (DEA). Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). Módulo 6. Disponible: www.allman.rhon.itam.mx/~lnieto/index_archivos/Modulo61.pdf [Consulta: 2007, Agosto 16]

- Olea, R., y Davis, J. (1986). "An Artificial Intelligence Approach to Lithostratigraphic Correlation Using Geophysical Well Logs". *Society of Petroleum Engineers Inc. SPE 15603. Kansas Geological Survey*. Kansas, U.S.A. Págs. 1-12.

- Pava, R. (2004). Curso de Biología Computacional. Disponible: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001832/lecciones/upgma.html> [Consulta: 2007, Diciembre 4]

- Pérez, C. (2004). Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Aplicación con SPSS. Pearson Educación S.A., Madrid. 672 p.

- Ramos, M. (2007). Curso de análisis de datos procedentes de investigaciones mediante programas informáticos. Disponible: http://www4.ujaen.es/~mramos/Cursos/CSPSS/CSPSS_15a_Cluster.pdf [Consulta: 2008, Enero 25]

- Ruiz de Galarreta, J. (2000). Agrupación de poblaciones locales de maíz (*Zea mays* L.) mediante caracteres morfológicos y parámetros ambientales. Biblioteca virtual Miguel de Cervantes. Disponible: http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/04708318700403873089079/002344_2.pdf [Consulta: 2007, Noviembre 20]

- Salinas, M. (2007). Modelos de Regresión y Correlación IV. Correlación de Spearman. Artículo de Educación. Disponible: <http://www.pagina%2043.pdf> , o www.cienciaytrabajo.cl [Consulta: 2008, Diciembre 18]

- Salvia, A. (s.f.). Estrategias y Diseños Avanzados de Investigación Social. Análisis de Modelos de Regresión Lineal. Seminario de Posgrado. Disponible: <http://www.catedras.fsoc.uba.ar/salvia/programa/doc-uba-ppt-3-a.ppt> [Consulta: 2008, Diciembre 20]

- Schlumberger. (1975). Interpretación de Perfiles, Volumen I – Fundamentos. Caracas: Schlumberger Limited. 156 p.

- Serra, O. (1998). Estudios Estratigráficos y tectónicos Mediante Perfiles de Pozo. Schlumberger. 140 p.
- Yoris, F., Ostos, M., Zamora, L. (1997). WEC Venezuela. Evaluación de Pozos. Publicado por Schlumberger Surency, Caracas. 377 p.