

MODELAMIENTO GEOQUÍMICO 2D DEL ROCK SPRINGS UPLIFT, WYOMING

ANA MARIA CIFUENTES NAVAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2013

MODELAMIENTO GEOQUÍMICO 2D DEL ROCK SPRINGS UPLIFT, WYOMING

ANA MARIA CIFUENTES NAVAS

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por título de
Geólogo**

DIRECTOR

MARIO GARCIA GONZALEZ

Geólogo, PhD.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERAS FISICO-QUIMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2013

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres Carlos y Ligia Margarita, junto con mi Hermana Daniela que día a día me brindan su amor y comprensión y así me llenan de fuerza, constancia y alegría ante la vida.

A mis todos Familiares y Amigos por su apoyo y cariño incondicional.

A la Universidad Industrial de Santander, su Escuela de Geología, Docentes y demás Administrativos en especial a la Secretaria Sonia Sánchez, los Profesores Mario García González y Mauricio Vásquez Pinto, y el Grupo de Investigación de Geología en Hidrocarburos y Carbones (Geología-UIS) por su inmensa ayuda y por contribuir en mi desarrollo personal y profesional.

Por siempre estaré agradecida de su compañía.

CONTENIDO

INTRODUCCION	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. OBJETIVOS.....	18
3. LOCALIZACION.....	19
4. METODOLOGIA	22
4.1 Recopilación Bibliográfica y Reconocimiento.	22
4.2 Procesamiento de Datos.	23
4.2.1 Modelo 1D	23
4.2.1 Modelo 2D	26
4.3 Preparación y Análisis de Muestras Roca Fuente.	35
5. MARCO TEORICO	39
6. MARCO GEOLÓGICO.....	41
6.1. ROCA GENERADORA.....	41
6.2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	42
6.2.1. Formación Bishop Conglomerate	48
6.2.2. Formación Wasatch	48
6.2.3. Formación Fort Union.....	49
6.2.4. Formación Lance.....	49
6.2.5. Formación Fox Hills	50
6.2.6. Formación Lewis	50
6.2.7. Grupo Mesaverde	50
6.2.8. Formación Baxter Shale:	54
6.2.9. Formación Frontier.....	54
6.2.10. Formación Mowry Shale	55
6.2.11. Formación Phosphoria	55

6.2.12. Formación Madison Limestone.....	56
7. RESULTADOS	57
7.1 MODELO 1D	57
7.1 MODELO 2D	60
7.3 ANALISIS DE MUESTRAS	64
8. CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFÍA.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Rock Springs Uplift, Wyoming.	20
Figura 2. Mapa de cuencas que intervienen en el Rock Springs Uplift	21
Figura 3. Correlación de datos adquiridos. Rock Springs Uplift, Wyoming. <i>Main Input</i> . Anexo A.....	24
Figura 4. Datos <i>Boundary Conditions</i> , ModelRSU. Anexo B.....	25
Figura 5. Gráfico que calcula la temperatura de superficie según la latitud 41°, en Norte América. Basado en Wygrala (1989). Auto SWIT.	25
Figura 6. Diagrama de Subsistencia del Rock Springs Uplift, Wyoming. <i>Burial History</i> . Anexo C. <i>Fuente: PetroMod1D®, 2012. ModelRSU</i>	26
Figura 7. Inicio del Modelamiento 2D entrar por Command Menu 1D/2D/3D la opción 2D, PetroBuilder.....	27
Figura 8. Steck/Layer Cake Model. Generación de nuevo proyecto.	28
Figura 9. Asignación de coordenadas Grid/Coordinates, <i>Interpolation in Y Direction</i>	29
Figura 10. Importación de la imagen del Perfil Geológico. <i>File/Import/Background Image</i>	30
Figura 11. Definición de horizontes en del Perfil Geológico.	31
Figura 12. Definición de facies.....	32
Figura 13. Definición de Age Assingment.....	33
Figura 14. Verificación de Boundary Conditions.....	34
Figura 15. Desbastadora Pulidora Phoenix Beta Buehler. Sede Guatiguará Universidad Industrial de Santander, Laboratorios Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones.....	36
Figura 16. Microscopio Trinocular Imager Z2-Carl Zeiss. Sede Guatiguará Universidad Industrial de Santander, Laboratorios Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones.....	38
Figura 17. Perfil sísmico del RSU.	42
Figura 18. Perfil geológico del Rock Springs Uplift. Anexo D.	43
Figura 19. Columna estratigráfica según Lover (1993). Anexo E.	44

Figura 20. Columna estratigráfica publicada en la página web del Estado de Servicio Geológico de Wyoming (<i>Wyoming State Geological Survey</i>). Anexo 6.	45
Figura 21. Mapa Geológico del Rock Springs Uplift. Anexo G.	47
Figura 22. Diagrama de Subsistencia del RSU, Wyoming. Anexo H.	58
Figura 23. Diagrama de Soterramiento. Variación de temperatura (°C) con respecto a la profundidad y edad. Anexo I.	59
Figura 24. Diagrama de Maduración (%Ro) del Rock Springs Uplift. ModelRSU. Anexo J	59
Figura 25. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift indicando vías de migración de líquido (Vectores verdes), reservorios (acumulación verde) y vías de gas (Vectores rojos). Anexo K.	60
Figura 26. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Grafica de temperatura-Steady State del levantamiento. Anexo L.	61
Figura 27. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift indicando madurez-calibración Sweeney&Burham (1990) %Ro. Anexo M.	62
Figura 28. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Posibles vías de migración. Anexo N.	63
Figura 29. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Grafica de tiempo de expulsión. Anexo Ñ.	63
Figura 30. Evolución geológica del Rock Springs Uplift. Anexo O.	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de características e identificación de muestras estudiadas del Rock Springs Uplift.	37
Tabla 2. Tabla de datos de Reflectancia de Vitrinita %Ro de la Muestra Mowry 1.....	65
Tabla 3. Tabla de datos de Reflectancia de Vitrinita %Ro de la Muestra Phosphoria 1. ...	65
Tabla 4. Tabla de datos de Reflectancia de Vitrinita %Ro de la Muestra Phosphoria 2. ...	65

LISTA DE ANEXOS

-CONSULTAR EN ARCHIVO ADJUNTO-

Anexo A. Correlación de datos adquiridos. Rock Springs Uplift, Wyoming. Main Input. Figura 3.

Anexo B. Datos Boundary Conditions, ModelRSU. Figura 4.

Anexo C. Diagrama de Subsistencia del Rock Springs Uplift, Wyoming. Burial History. Figura 6.

Anexo D. Perfil geológico del Rock Springs Uplift. Figura 18.

Anexo E. Columna estratigráfica según Lover (1993). Figura 19.

Anexo 6. Columna estratigráfica publicada en la página web del Estado de Servicio Geológico de Wyoming (Wyoming State Geological Survey). Figura 20.

Anexo G. Mapa Geológico del Rock Springs Uplift. Figura 21.

Anexo H. Diagrama de Subsistencia del Rock Springs Uplift, Wyoming. Figura 22.

Anexo I. Diagrama de Maduración (%Ro) del Rock Springs Uplift. ModelRSU. Figura 23.

Anexo J. Diagrama de Soterramiento. Variación de temperatura (°C) con respecto a la profundidad y edad. Figura 24.

Anexo K. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift indicando vías de migración de líquido (Vectores verdes), reservorios (acumulación verde) y vías de gas (Vectores rojos). Figura 25.

Anexo L. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Grafica de temperatura (°C) del levantamiento. Figura 26.

Anexo M. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift indicando madurez-calibración Sweeney&Burham (1990) %Ro. Figura 27.

Anexo N. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Posibles vías de migración. Figura 28.

Anexo Ñ. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Grafica de tiempo de expulsión. Figura 29.

Anexo O. Evolución geológica del Rock Springs Uplift. Figura 30.

Anexo P. Mapa geológico de Wyoming indicando ubicación del perfil A-A' RSU#1.

RESUMEN

TÍTULO:

MODELAMIENTO GEOQUÍMICO 2D DEL ROCK SPRINGS UPLIFT, WYOMING¹

AUTORA:

ANA MARIA CIFUENTES NAVAS²

PALABRAS CLAVE:

Rock Springs Uplift, modelamiento geoquímico 2D, Formación Phosphoria, Formación Mowry Shale.

DESCRIPCIÓN:

El Rock Springs Uplift, es una de las estructuras anticlinales más grandes al suroeste del estado de Wyoming en el condado de Sweetwater, éste se encuentra localizado dentro de la gran cuenca Greater Green River Basin señalado como el levantamiento más grande de ésta.

El interés económico que generan algunas de las formaciones del Rock Springs Uplift por sus ricas características consideradas en el medio de los hidrocarburos, trajo consigo una expectativa hacia las formaciones geológicas generadoras de petróleo interpretadas en este proyecto de grado.

Para este estudio se recopilaron más de 60 artículos, los cuales aquellos necesarios basaron toda la información datada referente a espesores, erosiones, edades y otros datos geoquímicos; dicha información se concentró en software PetroMod® donde se realizó el modelamiento geoquímico 1D y posterior 2D, mostrando a través del proceso diagramas de subsidencia, digitalización del perfil geológico y evolución geológica de todo el levantamiento. Seguido a esto se realizó un análisis a las muestras de las formaciones con mayor probabilidad de vitrinita, concentrándose en las formaciones Phosphoria y Mowry Shale del pérmico y cretácico inferior, respectivamente.

Para finalizar, el resultado del modelamiento 2D muestra la evolución geológica del Rock Springs Uplift indicando en él sus vías de migración y en consecuencia, el potencial de hidrocarburos en el levantamiento.

¹Proyecto de Grado. Modalidad: Trabajo de Investigación.

²Facultad de Físicoquímicas. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander (UIS).
Director: Mario García González –UIS.

ABSTRACT

TITLE:

GEOCHEMICAL MODELING 2D OF ROCK SPRINGS UPLIFT, WYOMING³

AUTHOR:

ANA MARIA CIFUENTES NAVAS⁴

KEY WORDS:

Rock Springs Uplift, geochemical modeling 2D, Phosphoria Formation, Mowry Shale Formation.

DESCRIPTION:

The Rock Springs Uplift is one of the largest anticline structures at the southwestern of the State of Wyoming in Sweetwater County. It is located within the Greater Green River Basin and is identified as its largest uplift.

The financial interest generated by some of the formations of the Rock Springs Uplift for its rich features considered in the oil field, brought expectation to the oil-generating formations which will be interpreted throughout this degree paper.

Over 60 items were collected for this study, which required all the existing information related with thicknesses, erosions, ages and other geochemical data. That information was concentrated in PetroMod® software where geochemical modeling was performed in 1D and after in 2D, showing through the process diagrams of subsidence, digitalization of the geology profile and geological evolution of the entire uplift. Following this an analysis of the samples was made including the formations most likely to vitrinite, focusing on the Phosphoria and Mowry Shale formations of Permian and Cretaceous below, respectively.

Finally, the results of the 2D modeling show the geological evolution of the Rock Springs Uplift and show there its migration routes and thus the hydrocarbon potential in the uplift.

³Graduation Project.

⁴Physicochemical Faculty. School of Geology. Universidad Industrial de Santander (UIS).
Director: Mario García González –UIS.

INTRODUCCION

La estructura anticlinal Rock Springs Uplift (RSU) ubicada en Wyoming, Estados Unidos, se extiende aproximadamente en 80 km de largo por 56 km de ancho, constituyendo a una de las estructuras más extensas e importantes de Wyoming. El anticlinal se encuentra localizado en la región central de la cuenca Greater Green River Basin (GGRB) la cual está conformada por tres subcuencas cuencas: Green River Basin al oeste, Washakie Basin al este, y Great Divide al sureste del Rock Springs Uplift.

El RSU presenta una sección estratigráfica que abarca formaciones desde el Cámbrico hasta el Neógeno; estas formaciones contienen importantes yacimientos convencionales y no convencionales de hidrocarburos como también importantes recursos de carbón. El presente trabajo realizo un modelamiento geoquímico en de un corte geológico regional en dirección Este-Oeste con el objetivo de entender los fenómenos de generación de petróleo y también la degradación del petróleo a gas. El modelo obtenido permite ilustrar la generación de petróleo y gas así como también la migración acumulación y escape de hidrocarburos una vez alcanzan la superficie, éste se realizó empleando el software PetroMod 2012 por medio de la licencia académica otorgada a la Universidad Industrial de Santander por la Empresa Schlumberger.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de los yacimientos no convencionales de petróleo y gas indica que el RSU presenta un gran potencial de éstos. El conocimiento detallado de la estratigrafía y la geología estructural permiten realizar un modelo geoquímico de generación, migración y degradación de petróleo con un detalle que no es posible obtener en la gran mayoría de las cuencas o estructuras.

Éste proyecto de investigación se enfocará en el análisis de los fenómenos de generación de petróleo, degradación termal del petróleo en gas y la migración y acumulación de petróleo y gas en el RSU.

El modelo geoquímico bidimensional permite explicar la prospectividad de hidrocarburos en yacimientos convencionales y no convencionales del Rock Springs Uplift, identificando de esta manera sus características geoquímicas que se exponen por medio de ilustraciones de aquellos diferentes procesos de generación; esto permitirá finalmente plantear nuevos prospectos de hidrocarburos en el Mesozoico y Paleozoico.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de grado se define en realizar el modelamiento geoquímico 2D del área de Rock Springs Uplift, Wyoming, para así reconstruir la historia de la roca generadora de petróleo correspondiente a este levantamiento.

Durante este proyecto se va a investigar la información requerida para la realización de diagramas de subsidencia y el modelamiento geoquímico centrándose en columnas estratigráficas, espesores y datos geoquímicos entre otros, para posteriormente ésta confrontarla con los resultados y así obtener una calibración en los datos; seguido a ello, se pondrán en análisis por reflectancia de vitrinita las muestras correspondientes a posibles rocas fuente del Rock Springs Uplift para finalmente crear e interpretar el modelamiento geoquímico 2D del levantamiento.

3. LOCALIZACION

El RSU, se encuentra localizado sobre el sector suroeste del estado de Wyoming, Estados Unidos. Éste levantamiento comprende un área aproximada de 50 millas de largo por 35 millas de ancho. Ver figura 1.

El anticlinal tiene rumbo norte-sur, con doble hundimiento, éste divide la cuenca Greater Green River en las cuencas (Figura 2) Green River, Great Divide y Washakie, que son depresiones estructurales y sedimentarias; de esta manera, el anticlinal de Rock Springs se ubica limitando hacia el este a la cuenca Green River, hacia el noroeste a la cuenca Great Divide y hacia el suroeste a la cuenca Washakie.

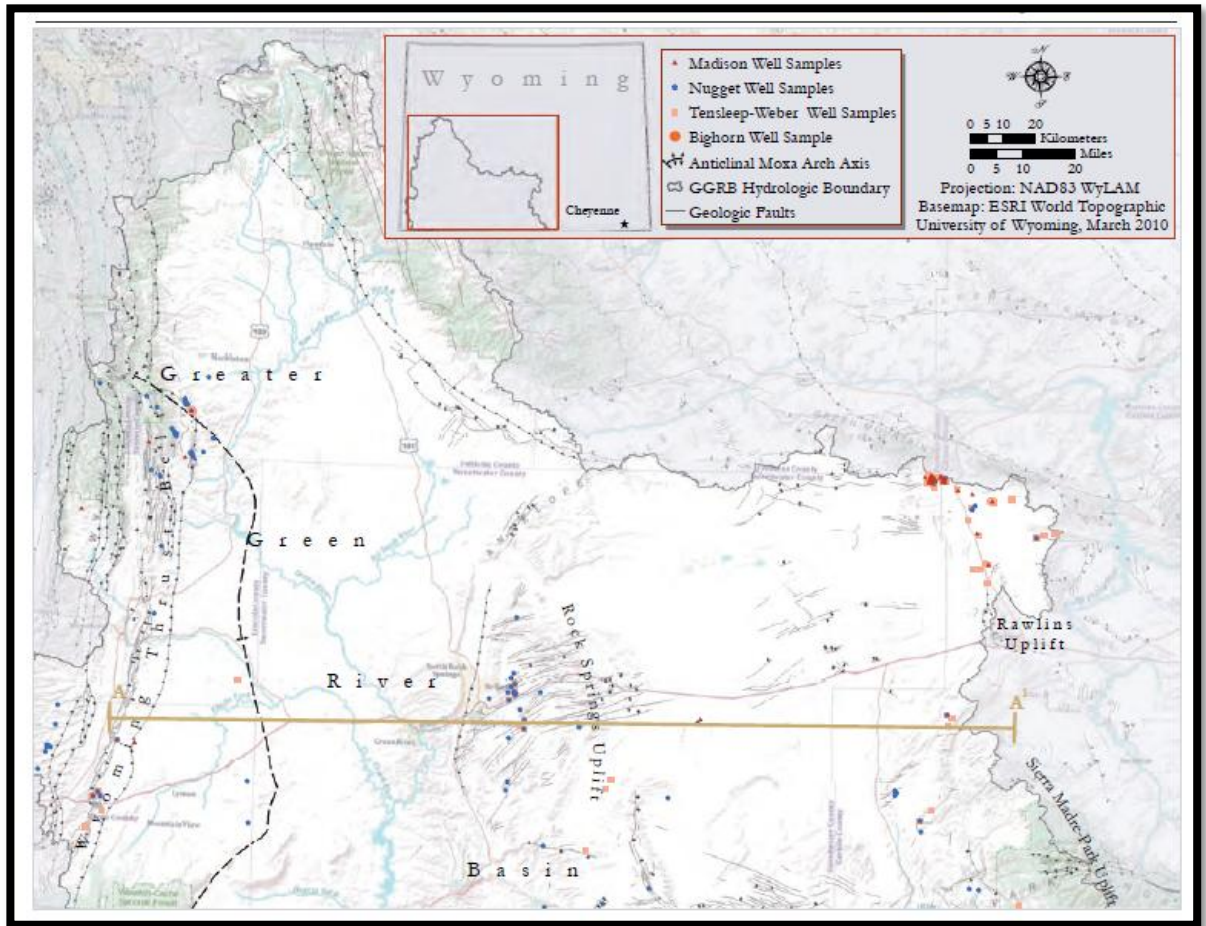


Figura 1. Ubicación geográfica del Rock Springs Uplift, Wyoming.

Fuente: Smith, M. S. et al. 2010.

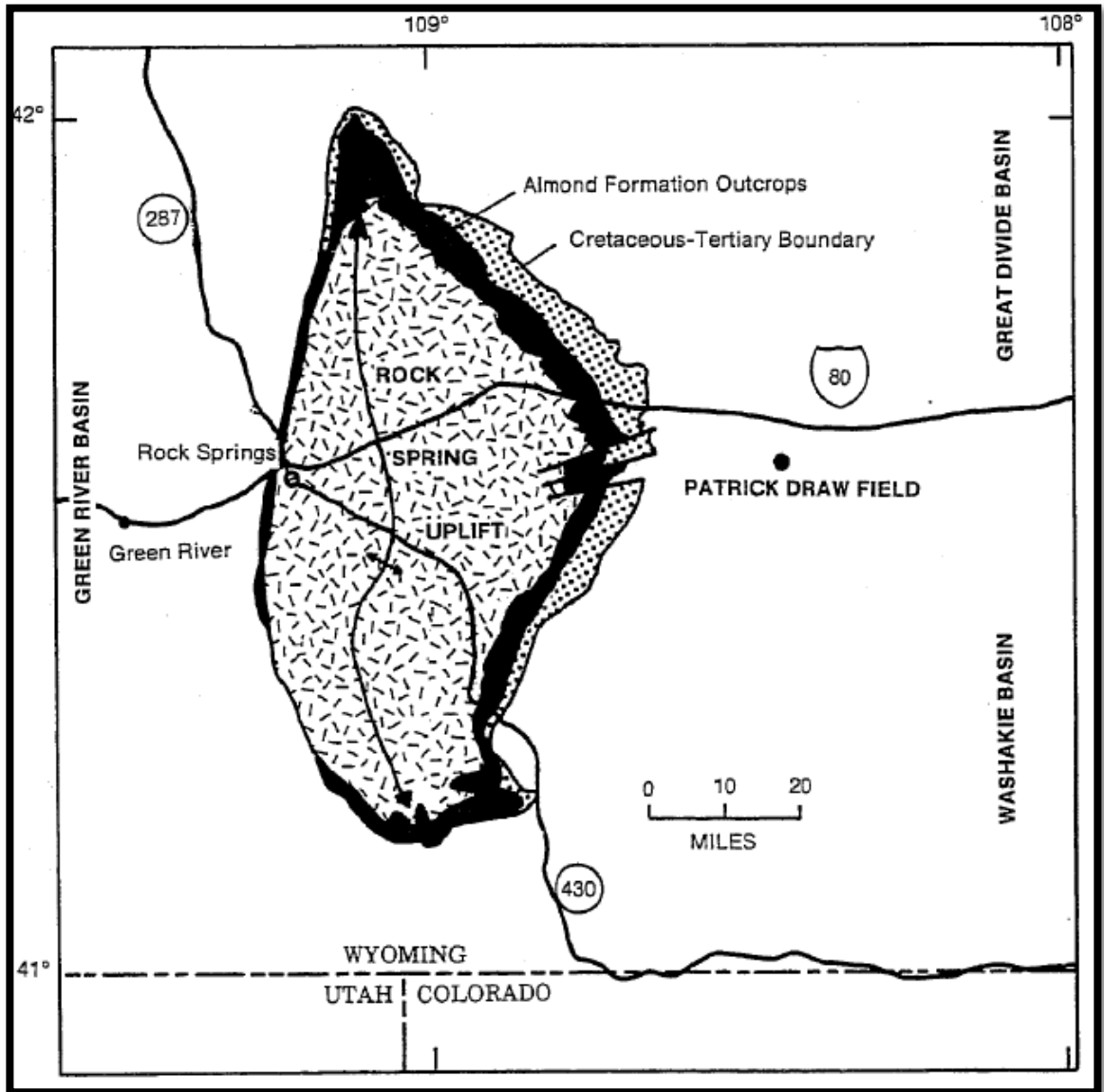


Figura 2. Mapa de cuencas que intervienen en el Rock Springs Uplift

Fuente: V. Rawn and D. Dawson. 1994

4. METODOLOGIA

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se efectuaron las siguientes fases principalmente: Recopilación Bibliográfica y Reconocimiento, Procesamiento de Datos, Preparación y Análisis de Muestras Roca Fuente. Éstas se centraron principalmente en las características estratigráficas, litológicas y geoquímicas de la información.

4.1 Recopilación Bibliográfica y Reconocimiento.

Esta fase comprende una selección detallada de artículos, publicaciones, informes, proyectos de grado y presentaciones que ayudaron al aumento y definición del conocimiento en el área de estudio; dando como resultado una orientación clara a la investigación.

Con su desarrollo se pudieron determinar coordenadas, espesores, tipo de litología, magnitud de las formaciones, columnas estratigráficas, perfil geológico y datos geoquímicos, entre otros, que recopilados fueron la base para la elaboración del trabajo. Al final de esta etapa se seleccionaron más de 60 artículos.

Una vez recolectada la información bibliográfica, se relacionaron y referenciaron los datos encontrados; a partir de esto se realizó una correlación de los mismos, generando de dicha manera una sola base de datos que fue con la que se trabajó.

4.2 Procesamiento de Datos.

Ya teniendo información unificada se dio inicio a esta fase que la relaciona en el software PetroMod®, de esta manera se empezó a realizar el modelamiento geoquímico 1D y posterior 2D.

4.2.1 Modelo 1D

Para llevar a cabo el modelo 1D se definieron las edades de las formaciones implicadas del Rock Springs Uplift, su profundidad, espesor, litología, erosión, tipo de roca, porcentaje de TOC, cinética y otros datos geoquímicos todos traídos a partir de datos bibliográficos. (Ver figura 3).

Para el caso de la cinética se basó de la información recolectada y ésta se correlaciono con la variedad de opciones que descarga el software PetroMod1D eligiendo así la más apropiada para el proyecto.

Layer	Top [m]	Base [m]	Thick. [m]	Eroded [m]	Depo. from [Ma]	Depo. to [Ma]	Eroded from [Ma]	Eroded to [Ma]	Lithology	PSE	TOC [%]	Kinetic	HI [mgHC/gTOC]
BEAUP CONGLOMER...	0	33	33	13	22.06	24.70	24.70	0.00	Conglomerate (typical)	Overburden Rock			
VAGATCH	33	289	236	136	36.06	41.30	23.00	10.00	Sandstone (typical)	Reservoir Rock			
FORT UNION	289	334	85	63	66.06	90.00	18.00	0.00	SHALEcarb	Source Rock	0.80	ES_TIE_Tertiary_Coal_2C	200.00
LANCE	334	330	16	16	68.96	90.00	6.00	3.00	SAND&SHALE	Seal Rock			
FOX HILLS	330	373	25	13	70.36	88.90	3.00	2.00	SAND&SHALE	Seal Rock			
LEWIS SHALE	373	487	32	12	71.96	70.30	2.00	1.00	SAND&SHALE	Seal Rock			
ALMOND	407	488	81	81	73.46	71.90			SAND&SHALE	Source Rock	1.00	ES_TIE_Tertiary_Coal_2C	200.00
ERICKSON	488	621	143		78.46	73.40			SAND&congl	Source Rock			
ROCK SPRINGS	631	842	211		85.06	78.40			SAND&SLIME	Source Rock	1.30	ES_TIE_Tertiary_Coal_2C	200.00
BLAIR	842	1366	424		86.56	85.00			SAND&SHALE	Source Rock			
BAITER SHALE	1266	2350	1084		92.06	86.50			SHALE&SAND	Source Rock	3.00	ES_TIE_Tertiary_Coal_2C	200.00
FRONTIER	2350	2448	98		97.06	92.00			SAND&SHALE	Reservoir Rock			
MOWRY SHALE	2448	2524	76		108.80	97.00			SHALE&sand	Source Rock	3.00	ES_TIE_Tertiary_Coal_2C	200.00
MUDDY SANDSTONE	2524	2556	32		104.80	100.00			Sandstone (typical)	Reservoir Rock			
DAKOTA SANDSTONE	2556	2802	46		145.70	104.80			Sandstone (typical)	Reservoir Rock			
MORRISON	2802	2889	87		158.50	145.70			SAND&SLIME	Reservoir Rock			
SUNDANCE	2889	2762	73		168.80	130.30			SAND&SHALE	Seal Rock			
ENTRADA SANDSTONE	2762	2778	16		168.20	160.80			Sandstone (typical)	Reservoir Rock			
GYPSUM SPRING	2778	2811	33		174.30	168.20			SAND&SHALE	Seal Rock			
MUSGET SANDSTONE	2811	2852	141		206.30	174.10			Sandstone (typical)	Reservoir Rock			
CHUGWATER	2852	3039	157		243.20	201.30			SILT&SHALE	Reservoir Rock			
RED PEAK	3109	3207	98		248.80	243.20			SILT&SHALE	Reservoir Rock			
DINWOODY	3207	3323	116		251.80	248.06			SHALE&SLIME	Seal Rock			
PHOSPHORIA	3323	3401	78		238.10	237.06			Shale (typical)	Source Rock	1.80	ES_TIE_Woodford_Shale_2C	400.00
WEBER SANDSTONE	3401	3601	200		284.30	286.18	286.10	278.30	Sandstone (typical)	Reservoir Rock			
AMSDEN	3601	3720	128		317.40	304.36			SANDSTONE	Seal Rock			
MADISON LIMESTONE	3720	3858	129		356.90	338.06	338.00	317.40	LIMESTONE	Source Rock	3.80	ES_TIE_Brown_Limestone_2C	200.00
DARBY	3858	4000	142		447.70	395.18			SAND&SLIME	Underburden Rock			
GROS VENTRE	4000	4930	30		500.80	497.78			LIMESTONE	Underburden Rock			
BASAVENT	4039	4100	70		500.80	500.06			Gneiss (508 Ma old)	Underburden Rock			

Figura 3. Correlación de datos adquiridos. Rock Springs Uplift, Wyoming. Main Input. Anexo A.

Fuente: PetroMod1D®, 2012. ModelRSU

Una vez completada la información del *Main Input*, se interviene en el *Boundary Conditions* insertando datos de Paleoprofundidad (PWD. Paleowater Depth), Paleotemperatura (SWIT. Sedimentary Water Interface Temperature) y Flujo de Calor (HF. Heat Flow)⁵ cuyos rangos de edad en los tres deben ser los mismos, de esta manera se generan sus respectivas gráficas. Para el caso se referenciaron según la información bibliográfica, representado en la gráfica de la figura 4, Anexo B (Datos Boundary Conditions- ModelRSU); en la determinación de los valores de SWIT se tuvo en cuenta la latitud que se ubica el Rock Springs Uplift, que en este caso corresponde a 45° de latitud, Norte América (Auto SWIT), Figura 5.

⁵DEMING, D. and CHAPMAN, D. S. 1989. Thermal Histories and Hydrocarbon Generation: Example from Utah-Wyoming Thrust Belt. p. 1462, 1463.

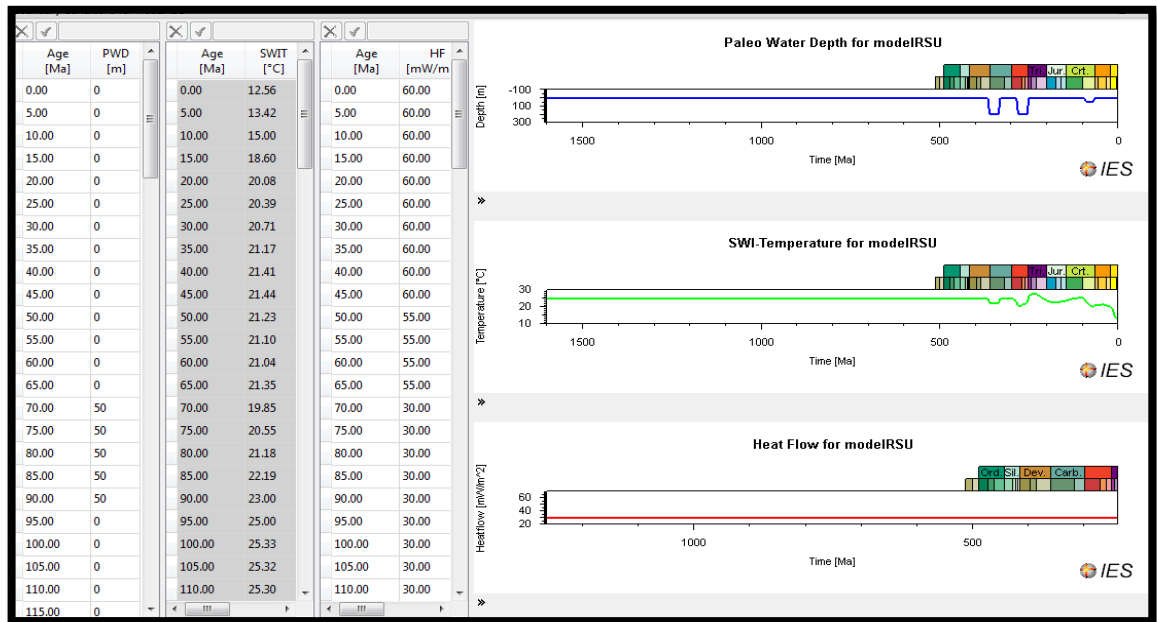


Figura 4. Datos Boundary Conditions, ModelRSU. Anexo B.

Fuente: PetroMod1D®, 2012. ModelRSU

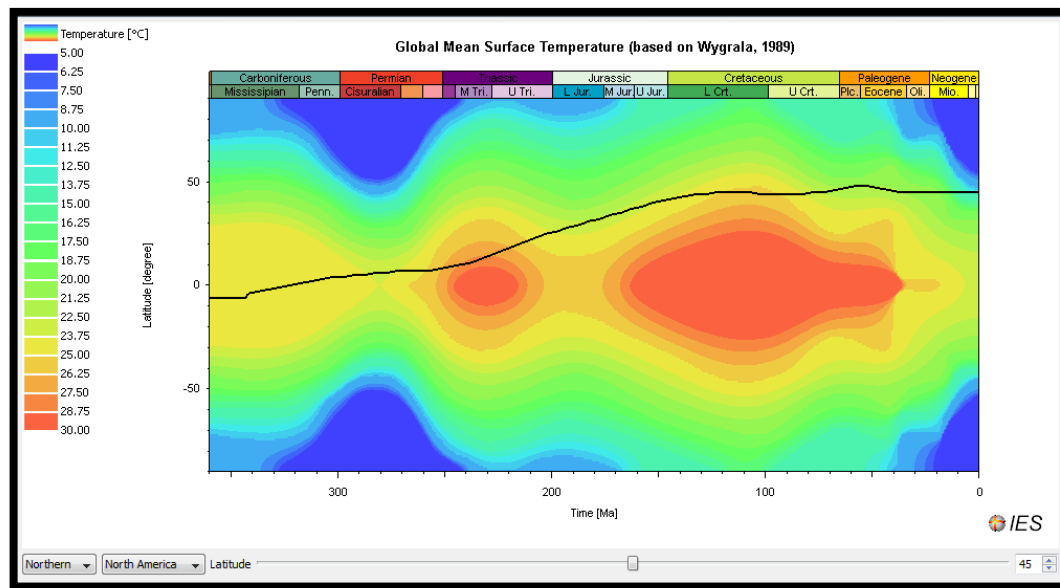


Figura 5. Gráfico que calcula la temperatura de superficie según la latitud 45°, en Norte América.

Basado en Wygrala (1989). Auto SWIT.

Fuente: PETROMOD®, 2012. ModelRSU.

Partiendo de dicha datación se obtiene por medio de PetroMod1D® el diagrama de subsidencia (Figura 6), *Burial History*.

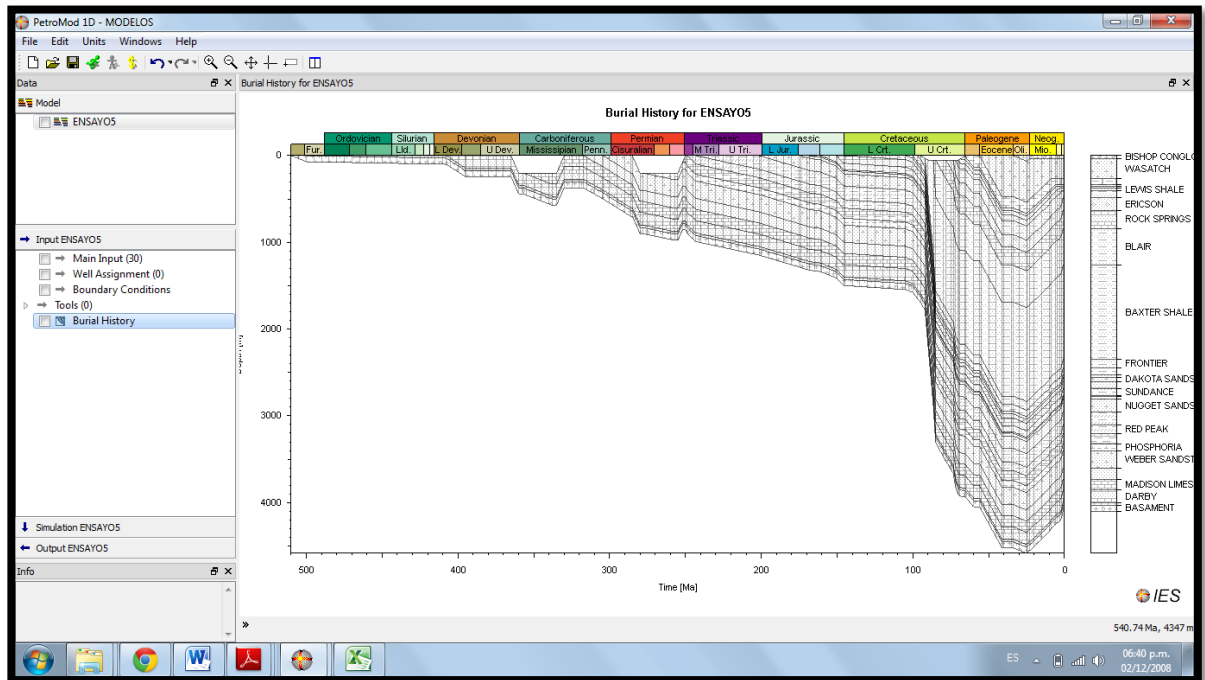


Figura 6. Diagrama de Subsistencia del Rock Springs Uplift, Wyoming. *Burial History*. Anexo C.

Fuente: PetroMod1D®, 2012. ModelRSU

4.2.1 Modelo 2D

Una vez realizado el Modelo 1D y con éste tener idea de la historia de enterramiento del Rock Springs Uplift, se dispone a realizar el Modelo 2D con PetroMod2D®.

Para dar inicio a este modelamiento entra en el *Command Menu 1D/2D/3D* la opción *2D*, en *PetroBuilder*. Ver figura 7.

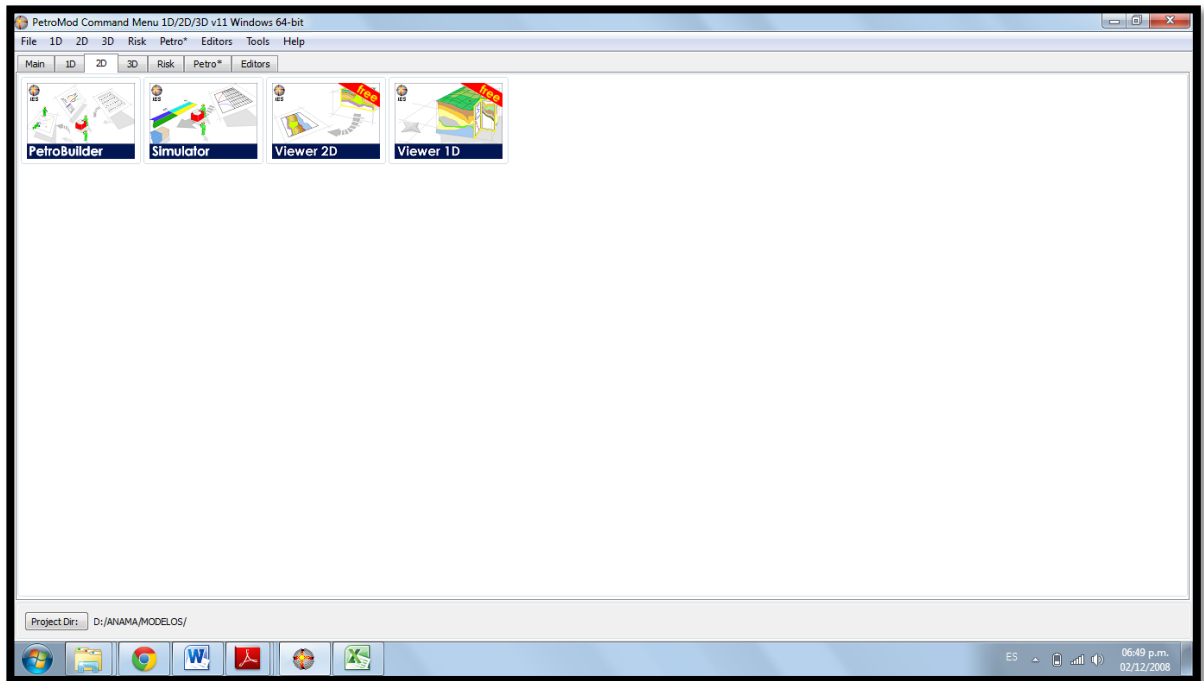


Figura 7. Inicio del Modelamiento 2D entrar por Command Menu 1D/2D/3D la opción 2D, PetroBuilder

Fuente: PetroMod2D®, 2012.

Ya en el 2D se abre un nuevo proyecto desde *File* opción *New* y ahí se escoge *Steck/Layer Cake Model* (Figura 8) dándole de esta manera dimensiones al proyecto, nombre y anotaciones requeridas.

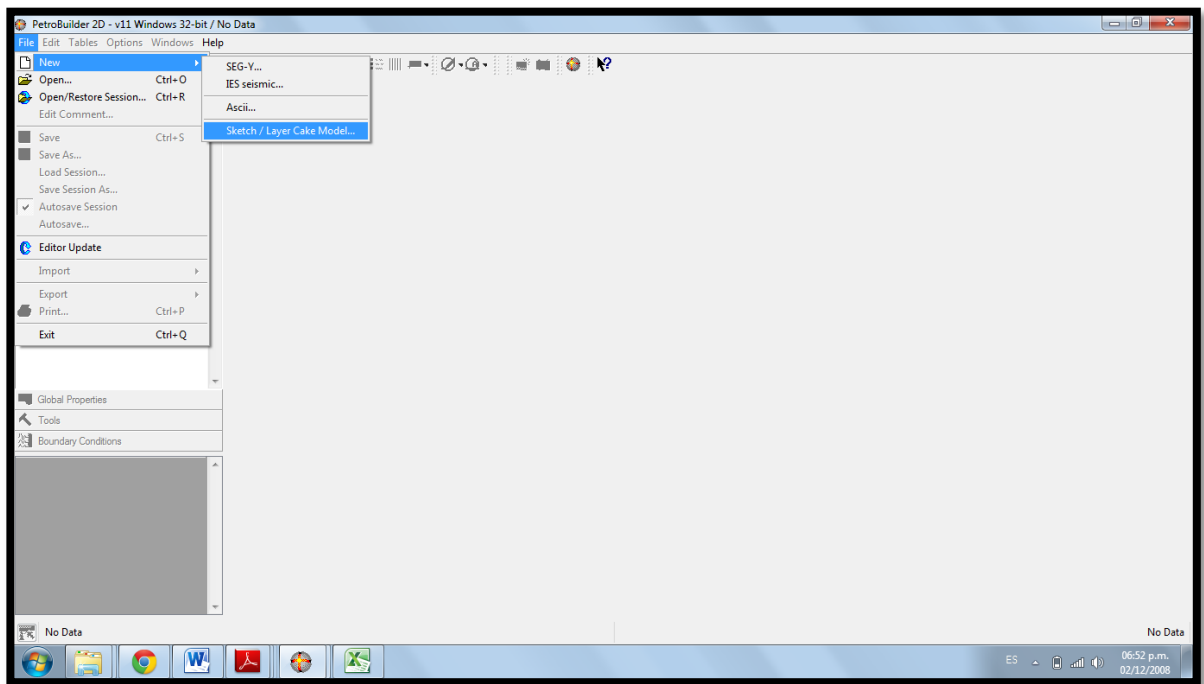


Figura 8. Steck/Layer Cake Model. Generación de nuevo proyecto.

Fuente: PetroMod2D®, 2012.

Seguido a ello se le asignan coordenadas al proyecto yendo a *Global Properties*, doble clic a *Grid*; La primera posición de *X-Global* y *Y-Global* corresponde a las coordenadas iniciales y la última a las finales, se seleccionan todos los datos de *Grid/Coordinates* haciendo clic derecho y dando en la opción *Interpolation in Y Direction*. Figura 9.

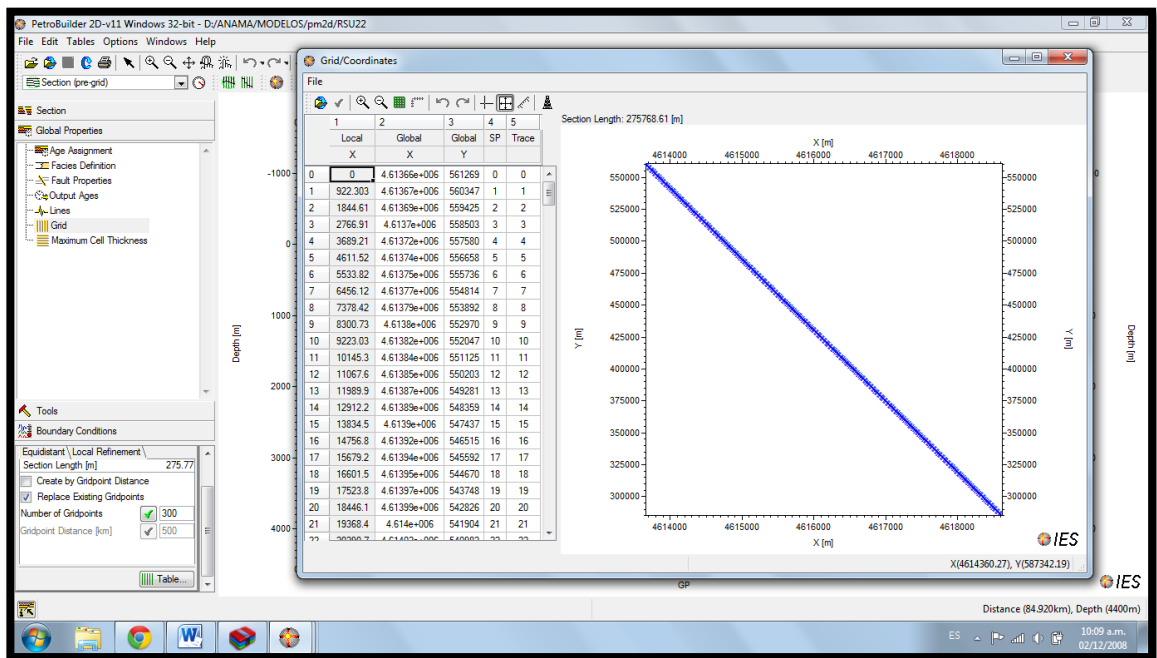


Figura 9. Asignación de coordenadas Grid/Coordinates, *Interpolation in Y Direction*.

Fuente: PetroMod2D®, 2012.

Ya con las coordenadas, se asigna la imagen del perfil geológico con el que se va a trabajar; para esto, la imagen de formato Archivo PNG (.png) debe estar guardada dentro de la carpeta *Data/Image* que se encuentra dentro la carpeta general de Petromod. La respectiva imagen es importada desde la opción *File/Import/Background Image*. Figura 10.

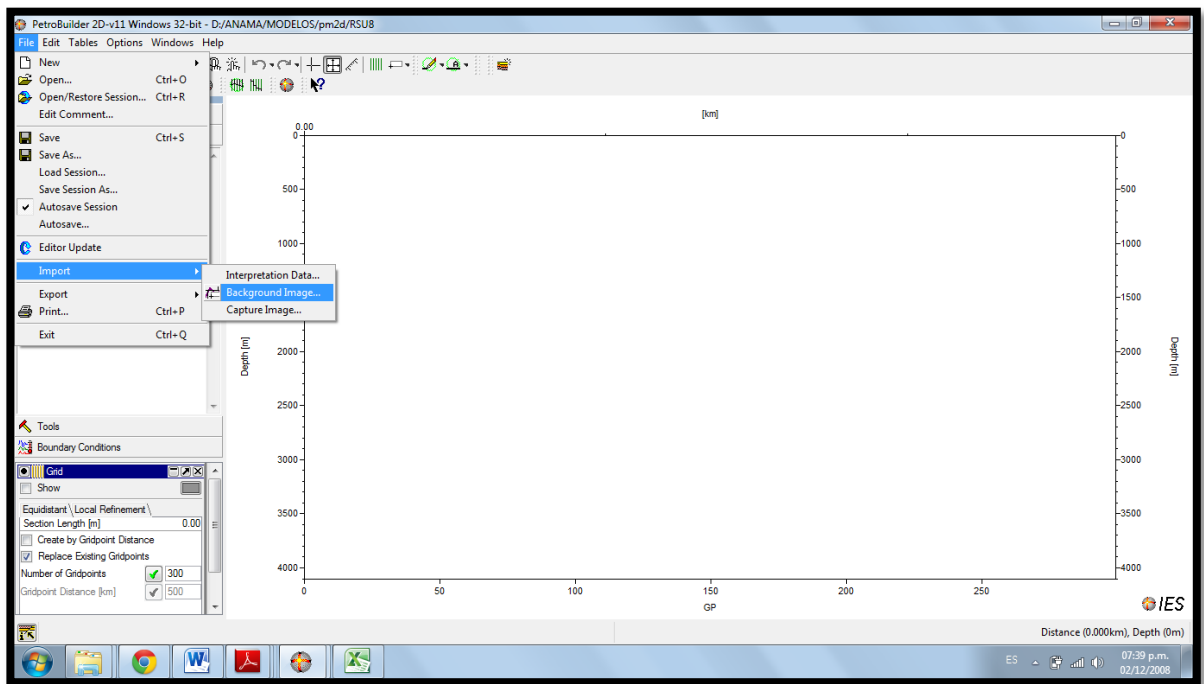




Figura 10. Importación de la imagen del Perfil Geológico. *File/Import/Background Image*

Fuente: PetroMod2D®, 2012.

Posterior a esto, se empieza a trabajar la definición de los horizontes de cada formación con la opción  a cada uno de ellos, y finalmente se asignan con la opción . De tal manera, figura 11.

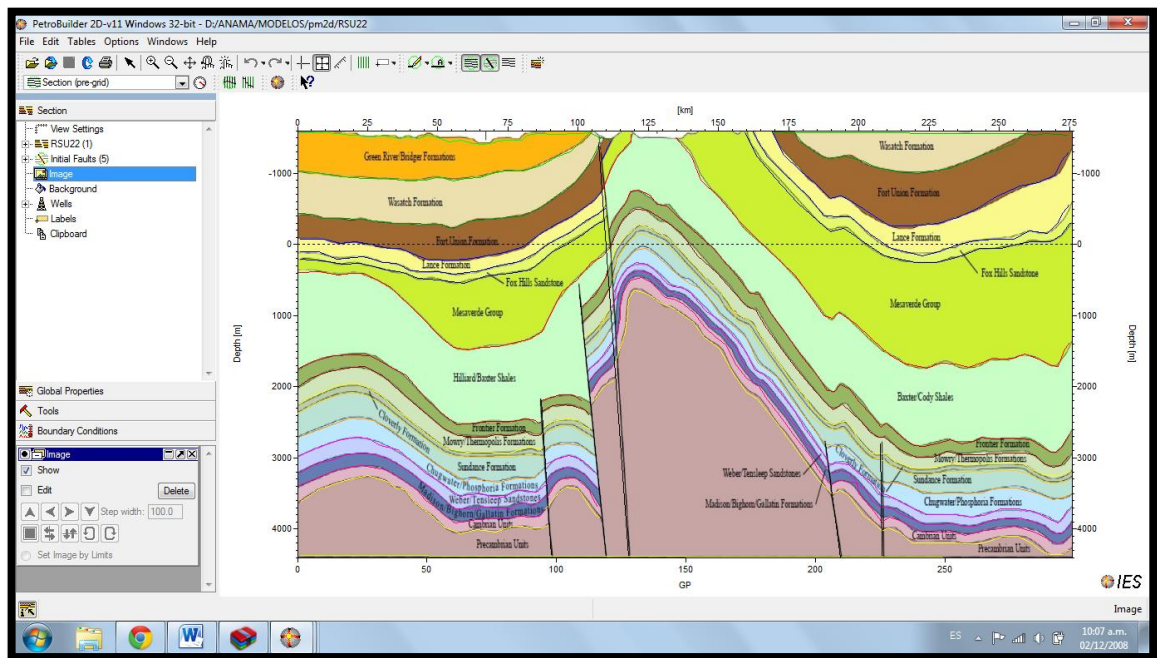


Figura 11. Definición de horizontes en del Perfil Geológico.

Fuente: PetroMod2D®, 2012.

A continuación se asignan las facies que comprende el proyecto, para ello, en *Global Properties* se encuentra la opción *Facies Definition* a la cual se le da doble clic, apareciendo su respectiva tabla, allí hay que llenar con nombre de facies, litología, color que se le asigna, TOC, dato cinético y otros valores geoquímicos, como aparece en la siguiente figura:

Facies Definition														
1	2	3	4	5	6	12	13	14	15					
Name	Petroleum System Elements	Color	Lithology Value	TOC Model	TOC Value [%]	Kinetics	HI Value [mgHC/gTOC]	HI Map [mgHC/gTOC]	ID					
1	CONGLOMERATE_BI	Overburden Rock	Conglomerate (typical)	Uniform	0.00	none	0.00	none	1					
2	SANDSTONE_WC	Reservoir Rock	SANDSTONE	Uniform	0.00	none	0.00	none	2					
3	SHALE CARBON_FU	Source Rock	Siltstone (organic rich, typical)	Uniform	3.00	IES_TIII_Tertiary_Coal_2C	200.00	none	3					
4	SAND&SHALE_LA	Seal Rock	SAND&SHALE	Uniform	0.00	none	0.00	none	4					
5	SAND&SHALE_FH	Seal Rock	SAND&SHALE	Uniform	0.00	none	0.00	none	5					
6	SANDSTONE & SHALE_MV	Source Rock	Siltstone (organic rich, 2-3% TOC)	Uniform	1.30	IES_TIII_Tertiary_Coal_2C	200.00	none	6					
7	SHALE&SAND_BX	Source Rock	Shale (typical)	Uniform	0.00	none	0.00	none	7					
8	SAND&SHALE_FT	Reservoir Rock	Sandstone (clay poor)	Uniform	0.00	none	0.00	none	8					
9	SHALEsand_MW	Source Rock	SHALEsand	Uniform	0.00	none	0.00	none	9					
10	Sandstone (typical)_DK	Reservoir Rock	Sandstone (typical)	Uniform	0.00	none	0.00	none	10					
11	SAND&SHALE_S	Seal Rock	SAND&SHALE	Uniform	0.00	none	0.00	none	11					
12	SHALE_PH	Source Rock	Limestone (organic rich - 10% TOC)	Uniform	1.00	IES_TII_Woodford_Shale_2C	400.00	none	12					
13	Sandstone (typical)_WB	Reservoir Rock	Sandstone (typical)	Uniform	0.00	none	0.00	none	13					
14	LIMESTONE_ML	Source Rock	Dolomite (organic lean, silty)	Uniform	3.00	IES_TII_Brown_Limestone_2C	200.00	none	14					
15	LIMESTONE_GV	Underburden Rock	LIMESTONE	Uniform	0.00	none	0.00	none	15					
16	BASAMENT	Underburden Rock	Granite (> 1000 Ma old)	Uniform	0.00	none	0.00	none	16					

Figura 12. Definición de facies.

Fuente: PetroMod2D®, 2012.

Definidas las facies, en *Global Properties*, se da la opción *Age Assignment* donde se asignan edades, eventos erosivos y discordancias en cada horizonte, como indica la figura 13.

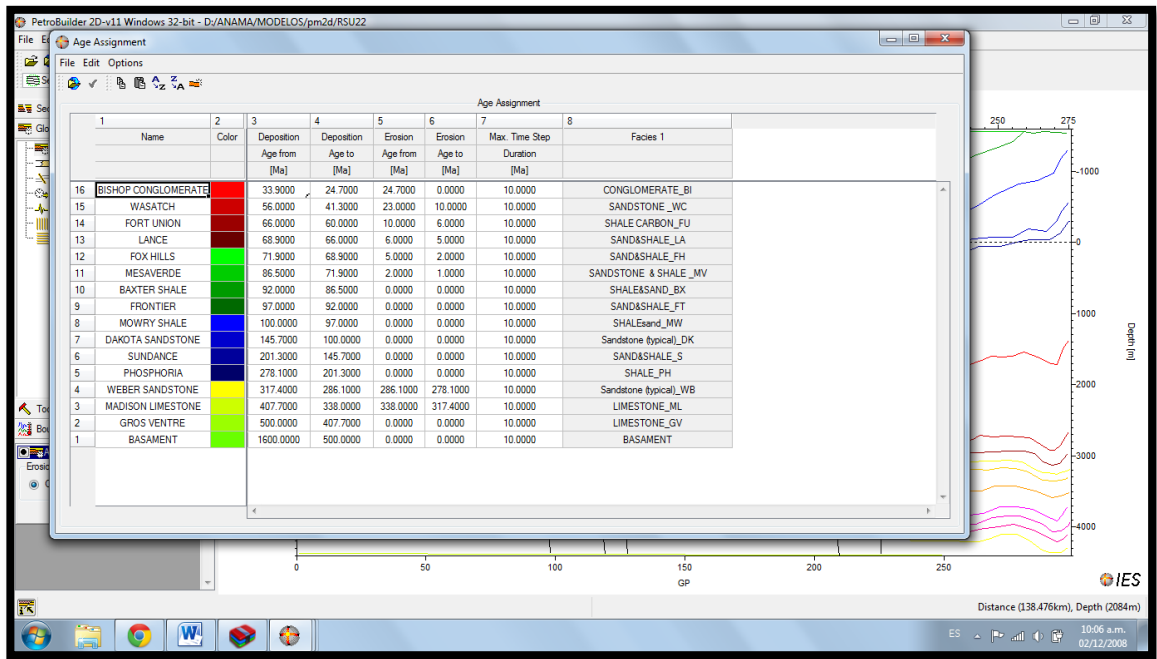


Figura 13. Definición de Age Assingment.

Fuente: PetroMod2D®, 2012.

A partir de este punto, a cada operación que se le realice al proyecto hay que guardar, dar la opción Grid y volver a guardar para que así el programa muestre los resultados que se le están pidiendo.

Hay que definir las Boundary Conditions; para esto, se debe a ir a *Boundary Conditions* y desplegar las tablas respectivas de PWD, SWIT y HF e insertar los datos que coinciden con las del 1D. Seguido a esto hay que verificar que estén chuleadas y guardadas las tablas con sus datos como lo indica la siguiente figura:

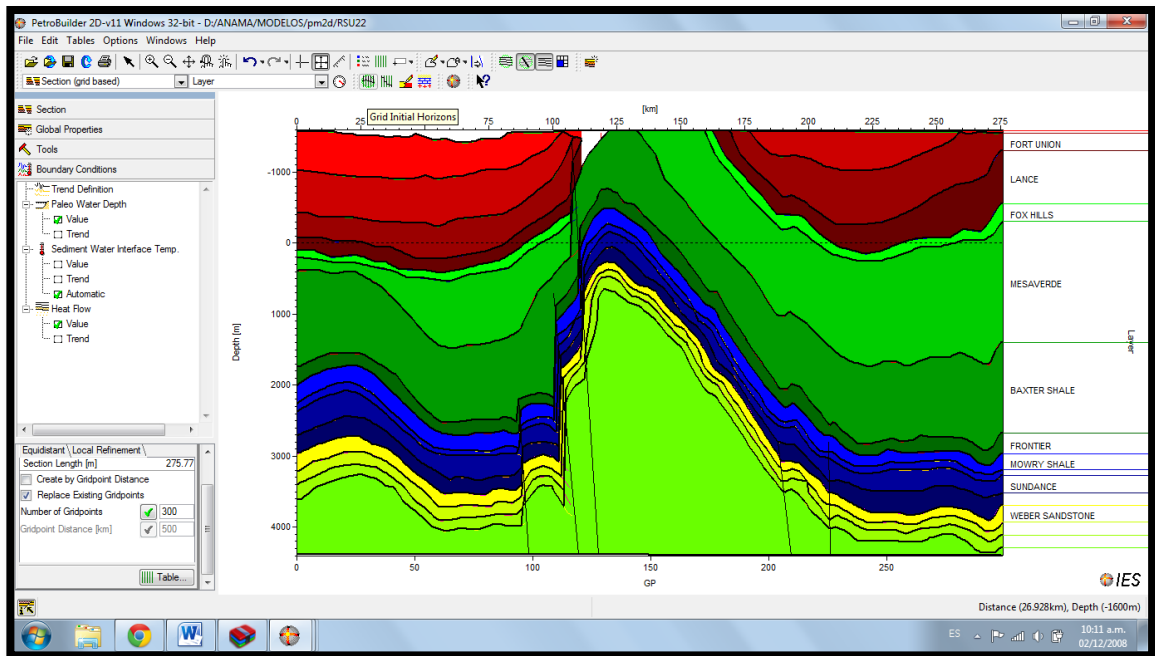


Figura 14. Verificación de Boundary Conditions.

Fuente: PetroMod2D®, 2012.

Haciendo ya este paso final, se puede realizar la simulación del proyecto. Para ello, en el *Command Menu 1D/2D/3D* se habilita la opción *Tools/Copy Model* y allí se selecciona el modelo que se desea copiar, se le asigna otro nombre a la simulación y se guarda.

Para llevar a cabo la simulación del proyecto, hay que ir a la pestaña de *Command Menu 1D/2D/3D/2D* y escoger la opción *Simulator*, ahí se determinan las opciones con las que quiere correr *Run Project* y *PetroFlow*, para este caso, se escogieron las opciones *2D/3D Temperatura and Pressure* y *Hibryd (Darcy+FlowPath)*,

respectivamente, para que finalmente se le dé la opción *Run*; el proceso puede tardar varios minutos.

Para poder visualizar el modelamiento geoquímico, en el *Command Menu 1D/2D/3D/2D* se escoge la ventana *Viwer*, la cual mostrará finalmente el modelo geoquímico.

4.3 Preparación y Análisis de Muestras Roca Fuente.

El análisis de muestras de las formaciones Phosphoria y Mowry para reflectancia de vitrinita fue realizado con el objeto de calibrar los modelos geoquímicos 1D y 2D; dicho análisis se llevó a cabo en el laboratorio de Geoquímica Orgánica de la Escuela de Geología con colaboración del Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones.

Para este proceso se tomaron en cuenta las muestras: Mowry 1, Phosphoria 1, Phosphoria 2, Madison 1, Madison 2 y Madison 3, dichas etiquetas se establecieron según su respectiva nombre de formación geológica. Como primer ejercicio, se maceraron las muestras, sumergiéndolas posteriormente en solución de resina póxica en moldes impregnados de vaselina, una vez cumplido el tiempo necesario para que la solución esté completamente seca, posteriormente son ubicados en la Desbastadora Pulidora Phoenix Beta Buehler (Ver figura 15) con una fuerza de 15 libras éstos se someten a ser pulidas por lijas desde la más gruesa hasta la más fina en el siguiente orden: 240, 400, 600 posteriormente se emplean los abrasivos de Alúmina de 0.5 y 0.05 micrones respectivamente.



Figura 15. Desbastadora Pulidora Phoenix Beta Buehler. Sede Guatigará Universidad Industrial de Santander, Laboratorios Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones.

Ya pulidas las muestras, se determinó realizar análisis a tres de las seis muestras descritas a continuación en la tabla 1; éstas fueron sometidas a examinación por medio del Microscopio Trinocular Imager Z2-Carl Zeiss (Ver figura 16), conectado al programa SpectraVision, utilizado con Windows XP.

Formación	Espesor (m)	Muestra	Profundidad (ft)
MOWRY SHALE	76	Mowry 1	8.130-8.160
PHOSPHORIA	78	Phosphoria 1	10.940-10.960
		Phosphoria 2	11.140-11.150
MADISON LIMESTONE	129	Madison 1	12.202
		Madison 2	12.213
		Madison 3	12.244

Tabla 1. Tabla de características e identificación de muestras estudiadas del Rock Springs Uplift.



Figura 16. Microscopio Trinocular Imager Z2-Carl Zeiss. Sede Guatigará Universidad Industrial de Santander, Laboratorios Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones.

5. MARCO TEORICO

El modelamiento geoquímico de generación de hidrocarburos se construye con base en las siguientes consideraciones:

1. Reconstrucción de la historia de subsidencia o soterramiento, la cual se realiza con base a la información estratigráfica que incluye espesores o topes de formaciones, litologías, edades geológicas y paleopropiedades obtenidas de la información de los ambientes de depositación de las diferentes formaciones. Los periodos de erosión de las formaciones también son considerados en la reconstrucción de la historia de subsidencia.
2. Cálculos de compactación y variación de las conductividades térmicas durante la subsidencia de la cuenca. En este caso se utilizó la metodología de Angevine et al, 1993.
3. Reconstrucción de la historia termal de la cuenca, ésta se realizó empleando datos de Heasler, H. P. et. al. 1992 y Deming, D. et. al. 1989, indicando que la historia de flujo termal presenta un flujo de 30mW/m^2 entre el cámbrico y el mesozoico que posteriormente se aumenta a 60mW/m^2 en el cenozoico.
4. Calculo de los procesos de generación y degradación termal de petróleo en las formaciones generadoras. Este cálculo empleó las cinéticas Kerógeno-Petróleo-Gas de la base de datos IES la cual contiene cinéticas para

formaciones ricas en kerógenos tipo II y III como lo son las formaciones Phosphoria, Mowry y Mesaverde, respectivamente.

6. MARCO GEOLÓGICO

6.1. ROCA GENERADORA

La mayor parte del petróleo del suroeste de Wyoming se produce por las rocas reservorio del Cretácico o aún más jóvenes, sin embargo, se reportan dieciocho unidades Litoestratigráficas (IHS Energy Group, 2001) que han producido petróleo; basado desde el supuesto que el petróleo contenido en las unidades estratigráficas del sub-cretácico tienen una roca fuente común, todas estas acumulaciones se agrupan a efectos de la evaluación de recursos; por lo menos nueve unidades estratigráficas en y junto a Wyoming han sido mencionados como posibles rocas generadoras de estas acumulaciones de petróleo. Aunque algunas de estas unidades podrían haber proporcionado petróleo, sólo la Formación Phosphoria contiene suficiente Carbono Orgánico Total (TOC) y volumen lítico para convertirse en una importante roca generadora⁶.

Aunque Phosphoria es la principal roca generadora, la unidad debe ser tratada conjuntamente con la formación estratigráficamente inferior, Park City Formation, ya que las dos fueron depositadas en ambientes sedimentarios adyacentes en gran parte del oeste y centro de Wyoming. Básicamente, Phosphoria depositó en el mar y Park City Formation en una plataforma carbonatada (Johnson E. A. 2005.).

⁶JOHNSON E. A. 2005. Geologic Assessment of Undiscovered Oil and Gas Resources in the Phosphoria Total Petroleum System, Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah. p. 3-5, 11-14.

6.2. GEOLOGÍA REGIONAL

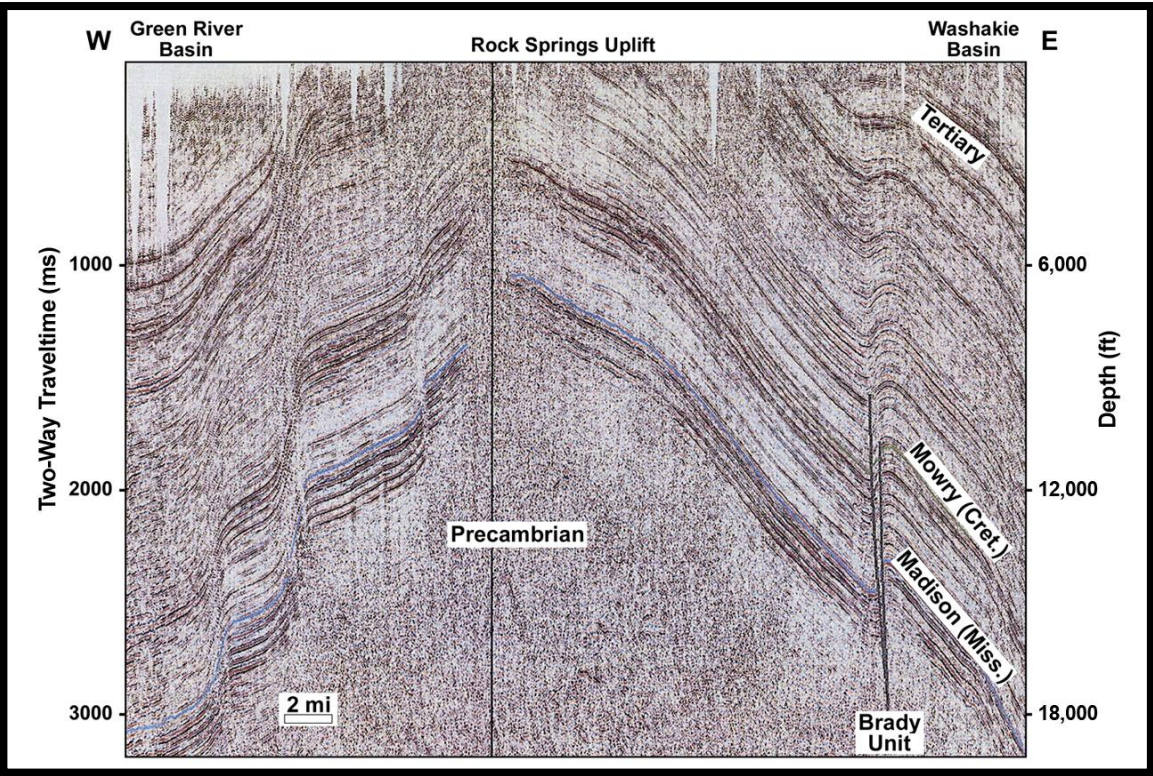


Figura 17. Perfil sísmico del RSU.

Fuente: Surdam R. S. 2012.

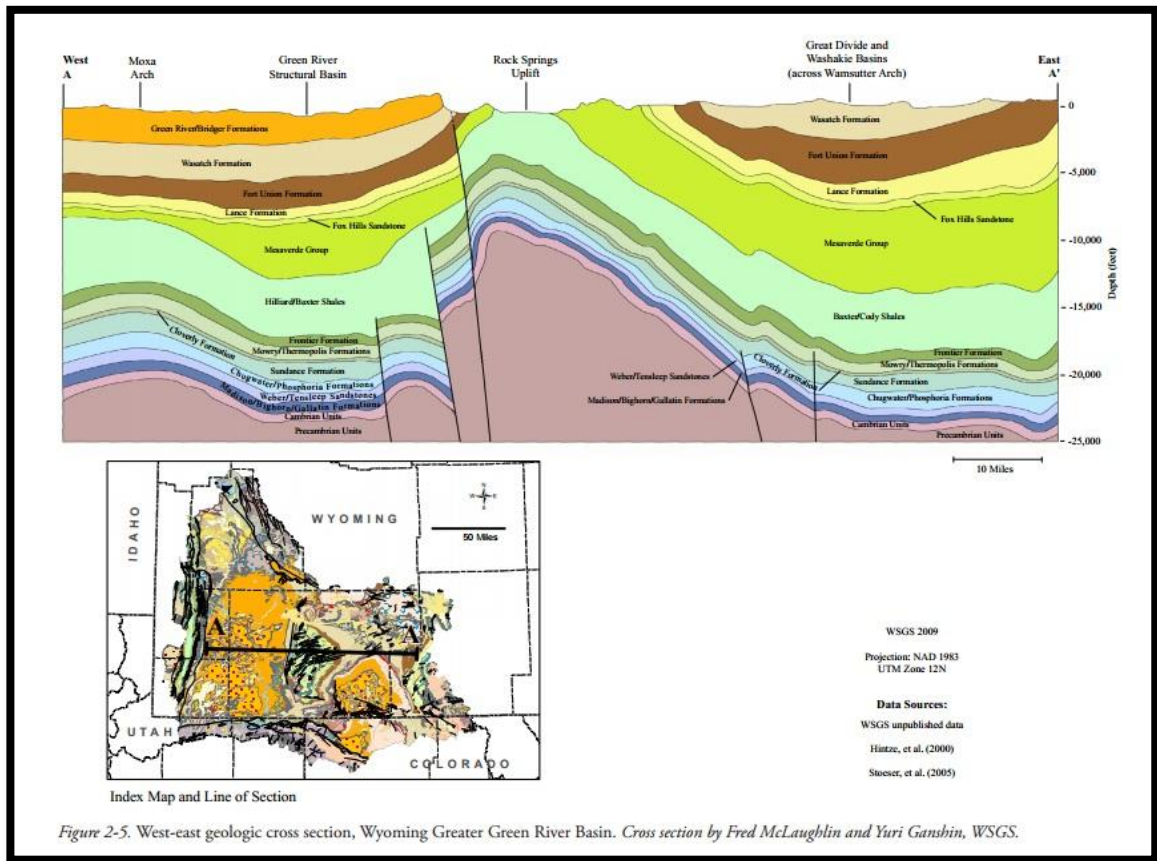


Figura 18. Perfil geológico del Rock Springs Uplift. Anexo D.

Fuente: Wyoming State Geological Survey <http://www.wsgs.uwyo.edu/Research/Water-Resources/GGRB/docs/CrossSection.pdf>. 29/04/13. 2:25 pm

El Rock Springs Uplift comprende aproximadamente 275Km de longitud y 4.400m de profundidad donde se localizan 30 formaciones geológicas según la correlación de las columnas estratigráficas de Love et al. (1993), ver figura 19, con la columna publicada en la página del Estado de Servicio Geológico de Wyoming (*Wyoming State Geological Survey*), figura 20.

Age		Moxa Arch	Rock Springs Uplift
Tertiary	Eocene	Wasatch Formation.	
	Paleocene	Ft. Union Formation	
Cretaceous	Mesaverde Group		
	Baxter Shale		
	Frontier Formation		
	Mowry Shale		
	Muddy Sandstone		
	Thermopolis Shale		
	Cloverly Formation		
	Morrison Formation		
Jurassic	Sundance Formation		
	Twin Creek Ls/ Gypsum Spring Fm.		
	Nugget Sandstone		
Triassic	Chugwater Formation		
	Dinwoody Formation		
Permian	Phosphoria Formation		
	Tensleep/Weber Sandstone		
Pennsylvanian	Amsden Formation		
	Madison Limestone		
Mississippian	Darby Fm		
	Eighorn Dolomite		
Devonian	Gallatin Limestone		
	Gros Ventre Formation		
Cambrian	Flathead Sandstone		

Figura 19. Columna estratigráfica según Lover (1993). Anexo E.

Fuente: Smith, M. S. et al. 2010.

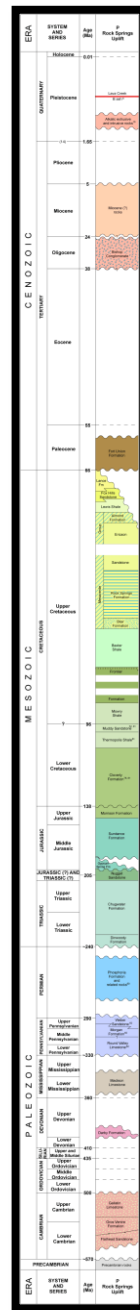


Figura 20. Columna estratigráfica publicada en la página web del Estado de Servicio Geológico de Wyoming (*Wyoming State Geological Survey*). Anexo 6.

Fuente: Wyoming State Geological Survey.

<http://www.wsgs.uwyo.edu/research/stratigraphy/RockSpringsUplift/RockSpringsUpliftALL.aspx>.

10/11/12. 12:59 pm

El levantamiento Rock Springs se caracteriza por la presencia en superficie de rocas sedimentarias, éstas corresponden a edades desde el Cretácico hasta el Paleógeno (Figura 21) donde se localizan las formaciones geológicas: Bishop Conglomerate, Wasatch, Fort Union, Lance, Fox Hills y parte del Grupo Mesaverde con la formación Almond la cual se encuentra en el centro del levantamiento; en la parte profunda del anticlinal se ubican las formaciones geológicas más antiguas de edades desde el Precámbrico hasta el Cretácico Superior, en el Grupo Mesaverde con la formación Ericson.

A continuación se describirán desde las más jóvenes hasta las más antiguas las formaciones geológicas afloradas en superficie y las principales que se encuentran en profundidad; identificadas según sus características cinéticas y de PSE ya sea reservorio, fuente o sello.

Formaciones geológicas que afloran en superficie del Rock Springs Uplift:

6.2.1. Formación Bishop Conglomerate

Nombrada por primera vez por Powell (1876) expuesta en el centro-sur de Sweetwater, cerca de la frontera de Wyoming-Utha. Esta formación consiste predominantemente de conglomerados formados por pebbles rodados subangulares integrados en una matriz de grava y arena compuesta principalmente por cuarcitas rojas y rocas calizas⁷. El espesor aproximado erosionado en el Rock Springs Uplift es de 33 metros.

6.2.2. Formación Wasatch

Identificada como Roca Reservorio⁸, descrita por Hayden (1869) ubicándola en el Eoceno, encontrándose sobre la formación Fort Union del Paleoceno; dicha formación presenta parte de su afloramiento en el centro del Rock Springs Uplift con aproximadamente 236 metros, ésta se caracteriza por la presencia de litofacies de areniscas y lodolitas. Roehler (1965, 1974) reconoció tres tipos en estas litofacies: 1) facies fluvial de capas rojas, 2) facies de pedimento y 3) facies roja no fluvial-paludal (R. Sullivan. 1980).

⁷SEARS, J.D. 1924. Geology and Oil and Gas Prospects Of Part Of Moffat County, Colorado, and Southern Sweetwater County, Wyoming. Contributions to Economic Geology, 1923-1924, Part II. p. 295-296.

⁸SEARS, J.D. 1924. Geology and Oil and Gas Prospects Of Part Of Moffat County, Colorado, and Southern Sweetwater County, Wyoming. Contributions to Economic Geology, 1923-1924, Part II. p. 292-2923

6.2.3. Formación Fort Union

La Formación Fort Union consiste en arenisca calcárea de grano fino a grano medio de color gris, con intercalaciones de shale, limolitas y shale gris claro con numerosas capas de carbón. El espesor varía de 1200 a más de 2000 pies. La formación muestra un adelgazamiento pronunciado hacia el oeste de las cuencas Washakie-Great Divide en el Rock Springs Uplift. (R. J. Weimer, 1965), se indica como roca generadora con cinética IES TIII Tertiary Coal 2C⁹ y Ro 0.8%.

6.2.4. Formación Lance

La Formación Lance se compone de un miembro basal de gris claro a amarillento de piedra arenisca localmente con espesor de 80 pies que se estima como roca sello. Este miembro, que descansa sobre la suave y friable Formación Lewis, forma colinas y verticales escarpados prominentes a lo largo del contacto. Las capas superpuestas consisten en arenisca, shale arcilloso, y capas delgadas de carbón que son menos resistentes a la erosión de la piedra arenisca basal. (L. A. Hale, 1950).

⁹ROBERTS L. N. R. et al. 2005. Burial History, Thermal Maturity, and Oil and Gas Generation History of Petroleum Systems in the Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah. p. 1.

6.2.5. Formación Fox Hills

Consiste de areniscas fosilíferas color gris de grano fino a mediano con un espesor variable desde 150 hasta 250 pies. Una cuesta baja está formada por Fox Hills, a lo largo del flanco oriental del Rock Springs Uplift. La Formación Fox Hills son areniscas marino regresivas y transicionales que ocurren estratigráficamente entre el shale marino de Lewis y la formación suprayacente Lance, no marina. (R. J. Weimer, 1965).

6.2.6. Formación Lewis

El Lewis es similar al Baxter shale, consiste de shale marino yesífero gris claro a azulado con concentraciones y capas de areniscas calcáreas, sugiriendo contacto transicional con la suprayacente formación Lance. El espesor varía de 0 a 430 pies en contraste a la máxima obtenida por Schultz de 750 pies. (L. A. Hale, 1950).

6.2.7. Grupo Mesaverde

El Grupo Mesaverde está compuesto por las Formaciones Blair, Rock Springs, Ericson y Almond, descritas a continuación:

6.2.7.1. Formación Almond

La Formación de Almond, es la formación superior del grupo Mesaverde. Se compone principalmente por depósitos de tierras bajas con algunas areniscas marinas litorales en la parte superior según W. B. Douglass, Jr., and T. R. Blazzard, 1961. Ésta formación es una de las formaciones productoras prolíficas en la zona de Rock Springs, ella sufre un cambio rápido facies (B. E. Weichman, 1961). Considerada como roca generadora de cinética IES TIII Tertiary Coal 2C¹⁰ de Ro 1.0%¹¹.

Principales formaciones geológicas que se encuentran en profundidad del Rock Springs Uplift:

6.2.7.2. Formación Ericson

La Formación Ericson es definida como una roca generadora con cinética Mu4-RC_TaranakiBasin_TII-III de Ro 0.9 (Roberts L. N. R. et al. 2005) la cual presenta dos grandes inconformidades, una debajo y otra entre sus estratos. Ésta se divide en tres miembros:

¹⁰ ROBERTS L. N. R. et al. 2005. Burial History, Thermal Maturity, and Oil and Gas Generation History of Petroleum Systems in the Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah. p. 1, 9, 16.

¹¹ FINN, T. M. et al. 2005. The Mesaverde–Lance–Fort Union Composite Total Petroleum System, Southwestern Wyoming Province. p. 1, 13-14

“Miembro Trail”, miembro inferior de la Formación Ericson, se encuentra por encima una inconformidad que particularmente se evidencia a lo largo del flanco oriental del Rock Springs Uplift (Hendrix, 1990; visto también por Devlin et al., 1993). Ésta inconformidad recorre el levantamiento del área de Rock Springs, causando erosión a más de 150m a la formación subyacente Rock Springs (Devlin et al., 1993). El miembro Trail es de múltiples-pisos, multilateral y comprende capas fluviales de areniscas.

“Miembro Rusty”, es segundo miembro de la Formación Ericson, espesa por el norte del Rock Springs Uplift, donde es 40m de espeso en Pine Canyon, al sur, 57m de espeso a lo largo del Cooper Ridge. Dos asociaciones de facies son reconocidas: (i) facies de plano de delta (ii) facies de estuario, valle de relleno.

“Miembro Canyon Creek”, es el miembro más joven de la Formación Ericson, espesa 27 metros en Pine Canyon en el norte de c. 87m en el sur a lo lardo de Cooper Ridge. El miembro Canyon Creek esta abruptamente superpuesto por el lodo abundante de la Formación Almond. Dos asociaciones de facies son reconocidas en el miembro Canyon Creek: (i) facies de canales anidados (ii) facies de canales meandricos. (O. J. Martinsen et al., 1999).

6.2.7.3. Formación Rock Springs

Nombrada por Schultz (1920) a la secuencia de areniscas, carbón y shale que afloraban alrededor de Rock Springs, Wyoming, cuya es identificada como roca generadora de petróleo con 1.3% de Ro (Law, B. E. et al., 1986) y cinética IES TIII

Tertiary Coal 2C (Roberts L. N. R. et al. 2005). La Formación Rock Springs es subdividida en areniscas y lengüetas (costas) de shale.

“Miembro Chimney Rock Sandstone” varía en espesor desde 140 hasta 970 pies. Las areniscas de este miembro son descritas como masivas, gris claro (desgaste de color marrón claro), de grano fino a muy fino, sub-angular a sub-redondeado, en partes de arcillosa a limosa, ligeramente calcárea, con abundantes granos minerales negros, ocasionalmente con chert gris, rosa y granos de cuarzo verde claro, con intercalaciones ocasionales de shales marinos, limolitas y shales carbonosos. Las areniscas son friables y tienen favorables porosidades. “Miembro Paludal” está compuesto por un espesor de 1000-1600 pies de series de carbón, shales carbonosos, limolitas, arcillolitas y areniscas (R. E. Keith.1965).

6.2.7.4. Formación Blair

Se define como roca reservorio de petróleo de 0.8% de Ro según Law, B. E. et al., 1986. Esta formación consiste de dos miembros marinos, uno superior “Miembro Shaley” y uno inferior “Miembro Sandy”. El Miembro Shaley es de shale arenoso color marrón claro en ocasiones de delgado espesor y areniscas marrones. El Miembro Sandy está compuesto en su mayor parte de una serie gruesa de color marrón claro, finamente interestratificados, areniscas de grano muy fino de color marrón-gris, limolitas arenosas de color marrón-gris y limos a shale arenoso. (R. E. Keith.1965).

6.2.8. Formación Baxter Shale:

Compuesta principalmente por shale marino gris oscuro con lentes aleatorios de granos muy finos de areniscas. El Baxter Shale tiene un espesor promedio de 3500 pies y esta formación está compuesta por tres miembros nombrados de la siguiente manera en orden descendente: Miembro Shale superior, Miembro Areniscas del Aeropuerto y el Miembro Shale inferior (R. E. Keith.1965). Esta formación se considera como roca generadora con Ro de 0.3 y cinética de Mu4-RC_TaranakiBasin_TII-III¹²

6.2.9. Formación Frontier

Al Noreste de Wyoming la Formación Frontier tiene un espesor aproximado entre 600 hasta 1000 pies, dividiéndose éste en tres miembros en orden ascendente: 1) Belle Fourche 2) Emigrant Gap y 3) el Miembro Wall Creek Sandstone (Merewether, 1983; Mieras, 1993), al Oeste del Rock Springs Uplift se correlaciona el Miembro Emigrant Gap y parte del Wall Creek del este con los Miembros Oyster Ridge Sandstone y Dry Hollow¹³.

¹² FINN T. M. and Johnson R. C. 2005. The Hilliard-Baxter-Mancos Total Petroleum System, Southwestern Wyoming Province. p. 1,5.

¹³ KIRSCHBAUM, M. A. and ROBERTS, L. N. R. 2005. Stratigraphic Framework of the Cretaceous Mowry Shale, Frontier Formation and Adjacent Units, Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah. p. 9-13.

6.2.10. Formación Mowry Shale

Formación del cretácico inferior con aproximadamente 76 metros de espesor, siendo una roca generadora con 0.3% de Ro y cinética IES TIII Tertiary Coal 2C (Roberts L. N. R. et al. 2005). En la superficie del suroeste de Wyoming ésta es reconocida como una zona de alta resistividad en registros geofísicos, lo cual refleja el carácter altamente silíceo de los shales que varían de gris plateado a gris oscuro y la presencia de estas intercalaciones con capas de bentonita delgadas¹⁴.

6.2.11. Formación Phosphoria

La formación Phosphoria es una de las de mayor interés dentro de este trabajo de investigación, debido a sus características geoquímicas, donde su porcentaje de Ro se encuentra en 1.0% con una cinética IES_TII_Woodford_Shale_2C como roca generadora. Ésta formación se encuentra encima de Weber Sandstone y su litología varía entre limolitas y calizas con intercalaciones de dolomitas arcillosas debido a facies sedimentarias de transición orgánica ricas en chert, fosforita y chert negro al oeste del Rock Springs Uplift; por lo y tanto Phosphoria puede ser una roca fuente de un depósito de almacenamiento en función de su litología local (Denga, H. et. al 2011)

¹⁴KIRSCHBAUM, M. A. and ROBERTS, L. N. R. 2005. Stratigraphic Framework of the Cretaceous Mowry Shale, Frontier Formation and Adjacent Units, Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah. p. 9-13.

6.2.12. Formación Madison Limestone

Madison limestone fue depositada en una plataforma carbonatada al largo del borde occidental del cratón de América del Norte, consiste en calizas macizas y dolomitas calcáreas cuarzosas grises (Denga, H. et. al 2011) que se encuentra en las profundidades del Rock Springs Uplift con un espesor aproximado de 129 metros, Ro de 3% y cinética IES TII Brown Limestone 2C. Esta unidad contiene gran parte del acuífero Madison que se produce en o cerca de la superficie alrededor de los levantamientos de la cuenca Greater Green River.

7. RESULTADOS

7.1 MODELO 1D

Como resultado de las dataciones anteriores se generó el diagrama de subsidencia del Rock Springs Uplift por medio del software PetroMod1D® 2012, presentado a continuación en la figura 22, Anexo H. Éste representa la historia de enterramiento del anticlinal, indicando erosión hasta de la formación Almond del Cretácico Superior dejando así esta formación expuesta en superficie; el levantamiento tiene una subsidencia continua hasta 24 Ma, en él se caracterizan dos hiatos a profundidad del RSU que se ubican a entre las formaciones Phosphoria-Weber y Amsden-Madison Limestone.

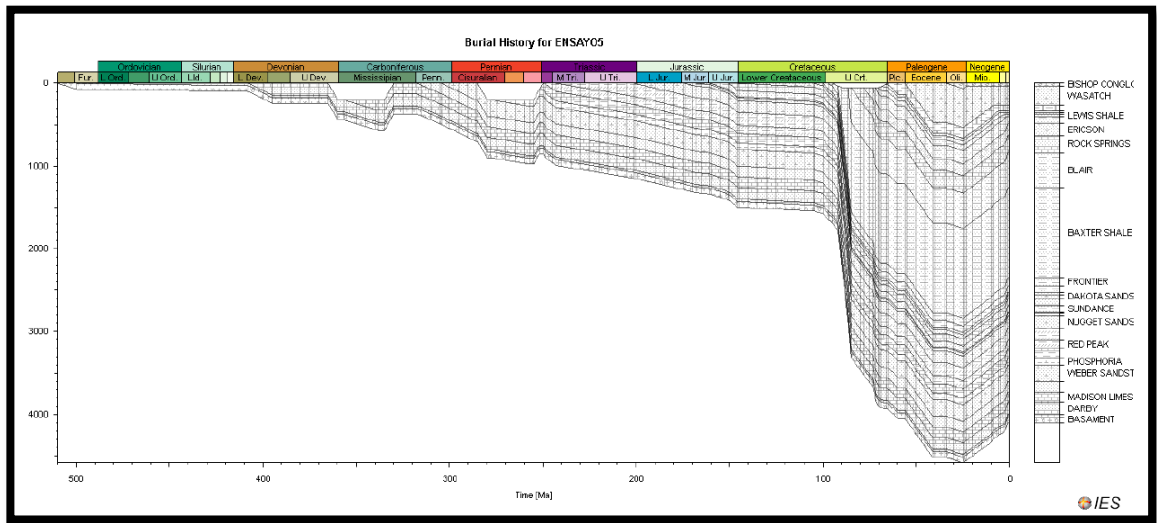


Figura 22. Diagrama de Subsistencia del RSU, Wyoming. Anexo H.

Fuente: PETROMOD®, 2012. ModelRSU

Con la información adjunta se pudo reconocer el Diagrama de Soterramiento donde se muestra la variación de temperatura con respecto a la profundidad y edad (Figura 23, Anexo I) y el Diagrama de Maduración (Reflectancia de Vitrinita. %Ro) ver figura 24, Anexo J; los cuales se muestran a continuación en las siguientes figuras:

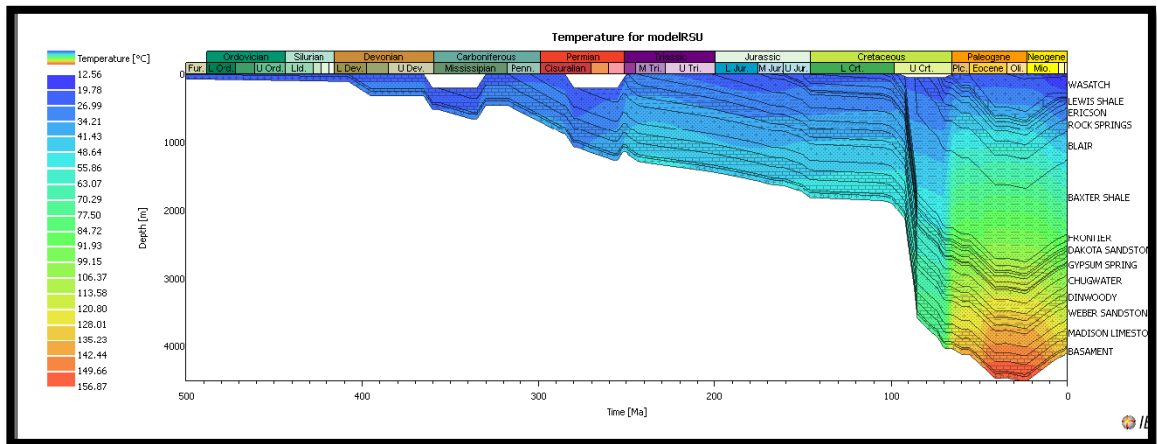


Figura 23. Diagrama de Soterramiento. Variación de temperatura (°C) con respecto a la profundidad y edad. Anexo I.

Fuente: PETROMOD®, 2012. ModelRSU

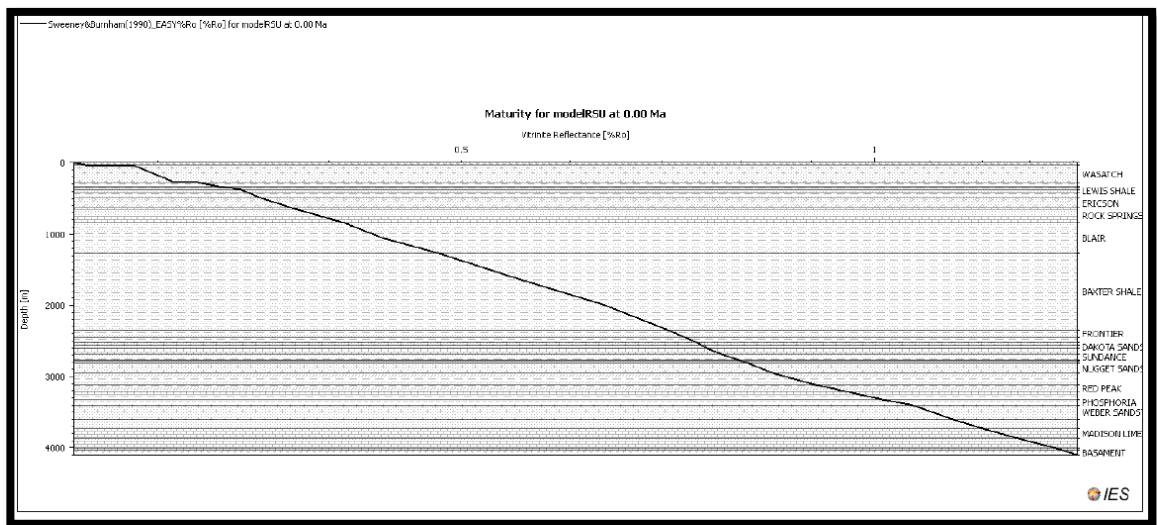


Figura 24. Diagrama de Maduración (%Ro) del Rock Springs ModelRSU. Anexo J

Fuente: PETROMOD®, 2012. ModelRSU

7.1 MODELO 2D

Partiendo de la elaboración del diagrama de subsidencia y comprendiendo de esta manera la historia y características de enterramiento del Rock Springs Uplift, se dispone a realizar el modelamiento geoquímico del levantamiento por medio de PetroMod2D® 2012, generando así finalmente el modelamiento geoquímico 2D.

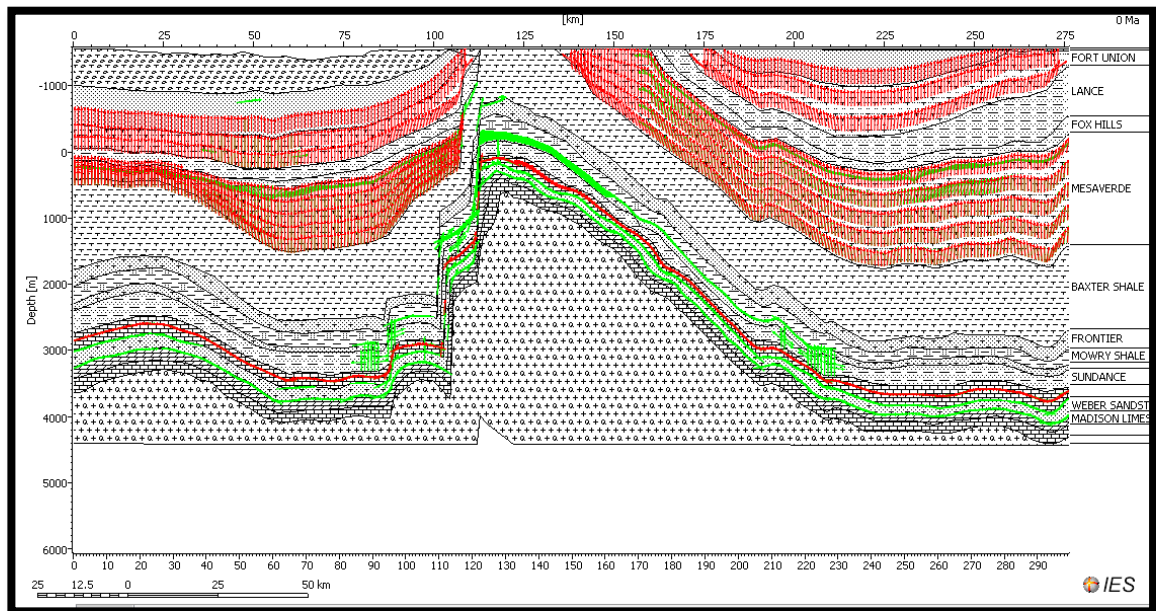


Figura 25. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift indicando vías de migración de líquido (Vectores verdes), reservorios (acumulación verde) y vías de gas (Vectores rojos). Anexo K.

Fuente: PETROMOD®, 2012. Proyecto RSU#1-RSU20

A este modelamiento se le puede destacar la temperatura, madurez, rutas de migración, tiempo de expulsión y evolución graficadas a continuación:

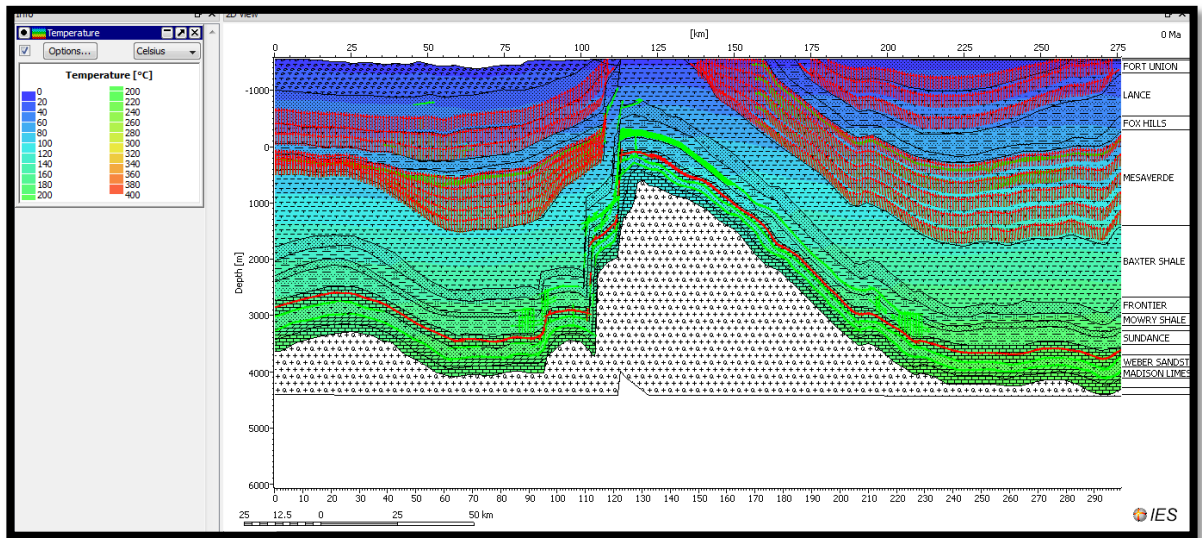


Figura 26. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Grafica de temperatura-Steady State del levantamiento. Anexo L.

Fuente: PETROMOD®, 2012. Proyecto RSU#1-RSU20

La temperatura del RSU representada en la anterior figura coincide con la calculada BHT del ModelRSU del modelo 1D. Lo cual indica la calibración del modelo.

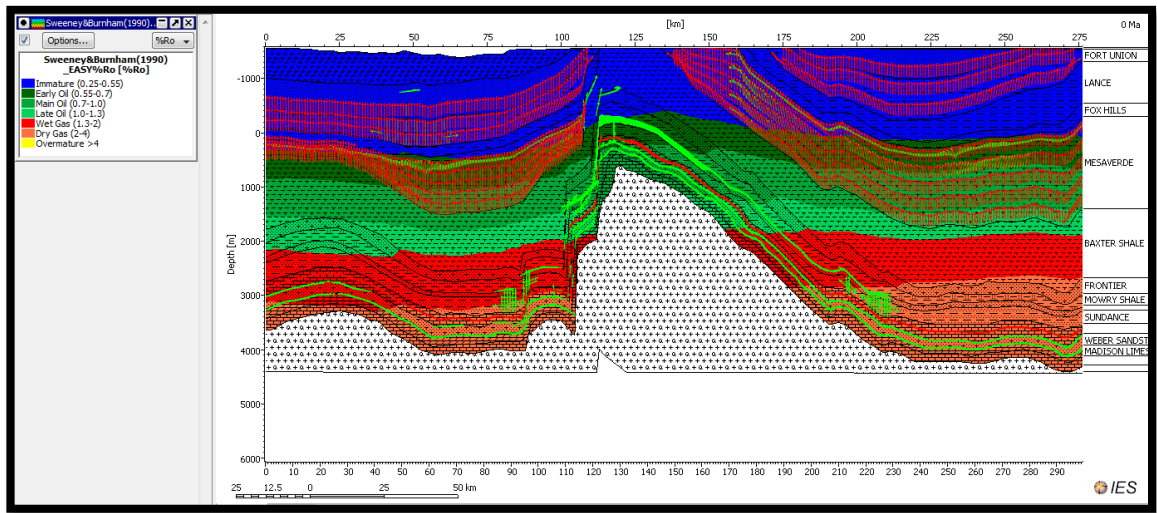


Figura 27. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift indicando madurez-calibración Sweeney&Burham (1990) %Ro. Anexo M.

Fuente: PETROMOD© 2012. Proyecto RSU#1-RSU20

Las formaciones que se encuentran en ventana de generación corresponden al Grupo Mesaverde con maduración temprana y sus subyacentes formaciones son consideradas en maduración tardía.

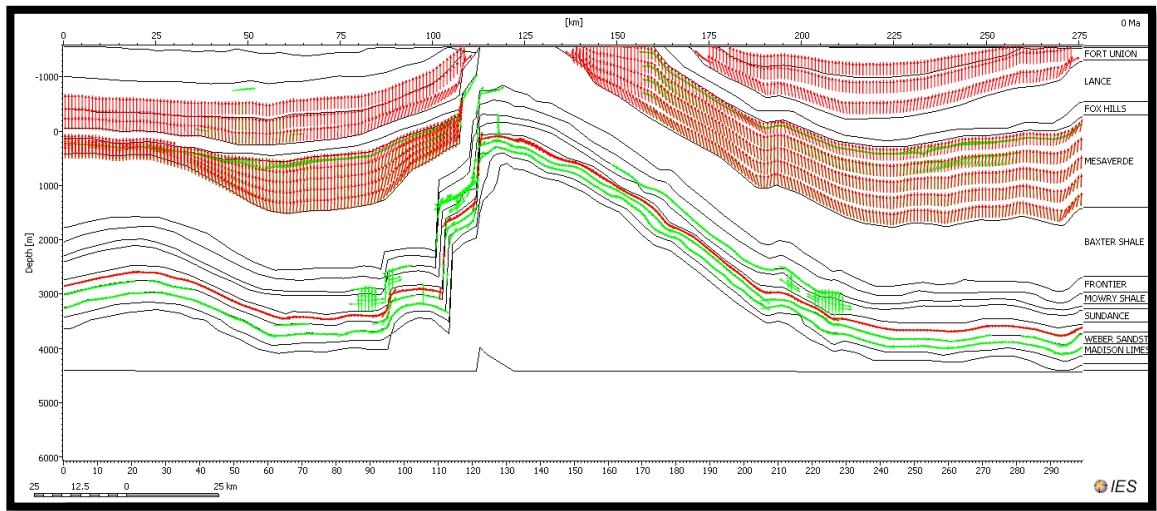


Figura 28. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Posibles vías de migración. Anexo N.

Fuente: PETROMOD® 2012. Proyecto RSU#1-RSU20

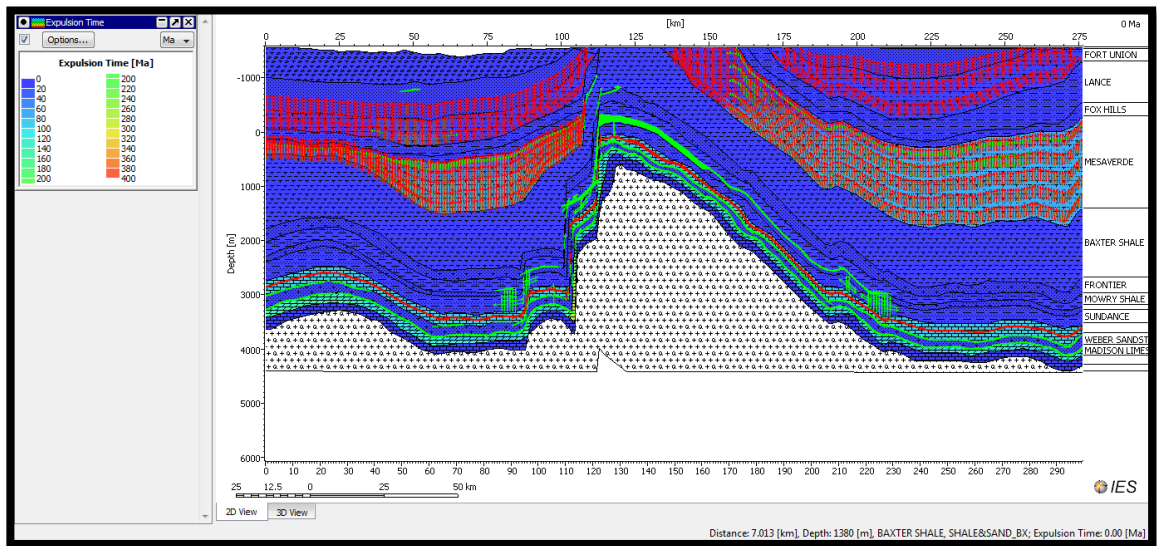


Figura 29. Modelo Geoquímico 2D del Rock Springs Uplift. Grafica de tiempo de expulsión. Anexo N.

Fuente: PETROMOD® 2012. Proyecto RSU#1-RSU20

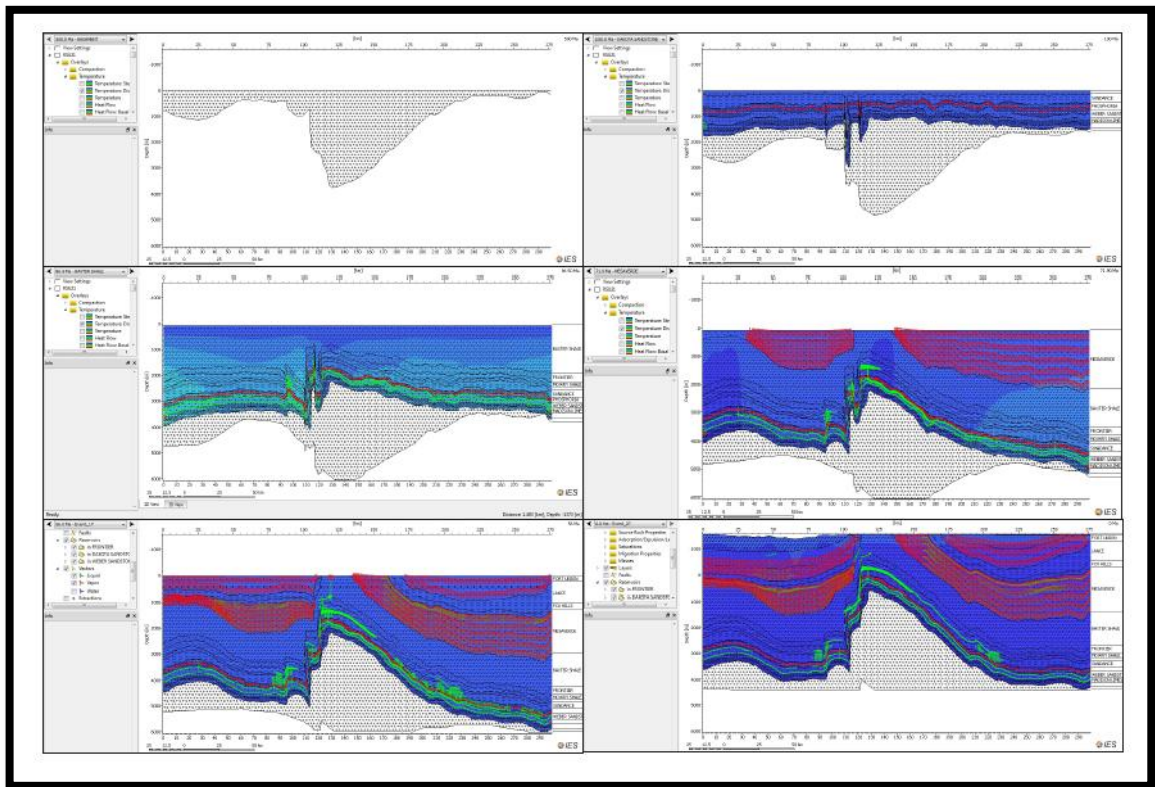


Figura 30. Evolución geológica del Rock Springs Uplift. Anexo O.

Fuente: PETROMOD® 2012. Proyecto RSU#1-RSU20

7.3 ANALISIS DE MUESTRAS

Para el examen de reflectancia de vitrinita del Rock Springs Uplift, se consideraron 6 muestras nombradas de la siguiente manera: Mowry 1, Phosphoria 1, Phosphoria 2, Madison 202, Madison 213 y Madison 244; de las cuales se sometieron a ser analizadas las primeras tres (Mowry 1, Phosphoria 1 y

Phosphoria 2). Los valores en %Ro de las tres muestras se reportan en las siguientes tablas:

Muestra	Mowry 1				
Profundidad (ft)	8.130-8.160				
Toma	1	2	3	4	5
Datos (%Ro)	1.625	1.625	1.625	1.633	1.638

Tabla 2. Tabla de datos de Reflectancia de Vitritina %Ro de la Muestra Mowry 1.

Muestra	Phosphoria 1				
Profundidad (ft)	10.940-10.960				
Toma	1	2	3	4	5
Datos (%Ro)	2.026	2.026	2.026	2.026	2.072

Tabla 3. Tabla de datos de Reflectancia de Vitritina %Ro de la Muestra Phosphoria 1.

Muestra	Phosphoria 2				
Profundidad (ft)	11.140-11.150				
Toma	1	2	3	4	5
Datos (%Ro)	1,9145	1,9917	2.067	2.067	2,068

Tabla 4. Tabla de datos de Reflectancia de Vitritina %Ro de la Muestra Phosphoria 2.

8. CONCLUSIONES

El diagrama de subsidencia del modelo 1D del Rock Springs Uplift identifica zonas de erosión a hasta la formación Almond, y un fuerte levantamiento desde los 92 Ma hasta 85 Ma y otro menos pronunciado hasta 24 Ma.

La temperatura del modelo 1D coincide con la del modelo 2D donde se identifica el enfriamiento en que se encuentran las rocas fuente del Rock Spring Uplift, de esta manera se señala la calibración y validación de los resultados.

El modelo 2D grafica que en la parte alta del anticlinal, las formaciones Frontier, Dakota Sandstone y Weber Sandstone, contienen reservas de hidrocarburos llevadas por las rutas de migración a lo largo de las formaciones Phosphoria, Mowry, Madison, el Grupo Mesaverde y aportes de Fort Union. Ésta representación no señala acumulaciones de gas debido a que su migración se da por medio de las fallas.

Las formaciones que se encuentran en ventana de generación de hidrocarburos corresponden: al Grupo Mesaverde en pico de maduración y en maduración tardía Phosphoria, Mowry y Madison Limestone.

El modelamiento geoquímico señala que en las zonas más profundas del Rock Springs Uplift es donde migra el líquido caracterizando de esta manera las formaciones ya descritas y acumulando a aproximadamente 1273m de

profundidad en el anticlinal. En las partes más someras por la escasez de trampas estructurales y estratigráficas no se encuentra acumulación de los mismos.

El %Ro calculado para la formación Phosphoria a partir del modelo geoquímico con respecto al %Ro medido de la misma formación, son de valores similares indicando de esta manera la calibración del modelo geoquímico 2D y la optimización de los datos.

La evolución geológica graficada por el modelo geoquímico indica que la formación Madison Limestone genera hidrocarburos a partir de los 145 Ma y Phosphoria 100 Ma, sin aún acumular reservorios; a los 86 Ma se crean acumulaciones en las formaciones Dakota y Weber. Con la depositación del Grupo Mesaverde, se genera gran aporte de gas que es fácilmente migrado por medio de las fallas, ésta produce hidrocarburos desde los 66 Ma. Ya a los 56 Ma la formación Frontier contiene acumulación de petróleo enriquecido por las rocas generadoras a profundidad y por las formaciones Mowry Shale a partir de los 41 Ma y Fort Union desde los 23 Ma-10 Ma.

El potencial de hidrocarburos en el Rock Springs Uplift se considera bueno, centrándose en las rocas reservorio: Frontier, Dakota y Weber; y en las rocas fuente: Fort Union, Grupo Mesaverde, Phosphoria, Mowry y Madison Limestone; como lo indica el diagrama 2D.

BIBLIOGRAFÍA

ALLIS, R. G. 2003. CO₂ sequestration potential beneath large power plants in the Colorado Plateau-Southern Rocky Mountain region, USA. 2nd Annual Conference on Carbon Sequestration, Alexandria, VA, May 5-8, 2003. p. 20, 21.

CLAREY, K. E. et. al. 2010. Available Groundwater Determination. Technical Memorandum. p. cap 2, 27, 28.

DEMING, D. and CHAPMAN, D. S. 1989. Thermal Histories and Hydrocarbon Generation: Example from Utah-Wyoming Thrust Belt. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin V. 73, No. 12 (December 1989), P. 1455-1471, 14 Figs., 5 Tables. p. 1462, 1463.

DENGA, H. et. al. 2011. Simulation of CO₂ Sequestration at Rock Spring Uplift, Wyoming: Heterogeneity and Uncertainties in Storage Capacity, Injectivity and Leakage. International Journal of Greenhouse Gas Control 10th Annual CCS conference, 2011-05-02/2011-05-05 (Pittsburgh, Pennsylvania, United States) p. 8, 9.

DOUGLASS, JR. W. B., and BLAZZARD, T. R., 1961. Facies Relationships of the Blair, Rock Springs and Ericson Formations of the Rock Springs Uplift and Washakie Basin. WGA, 2005 - Symposium on Late Cretaceous Rocks,

Wyoming and Adjacent Areas; 16th Annual Field Conference Guidebook, 1961. p. 4.

FINN, T. M. AND JOHNSON R. C. 2005. The Hilliard-Baxter-Mancos Total Petroleum System, Southwestern Wyoming Province. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado: Version 1, 2005. p. 1, 5.

FINN, T. M. et al. 2005. The Mesaverde–Lance–Fort Union Composite Total Petroleum System, Southwestern Wyoming Province. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado: Version 1, 2005. p. 1, 13, 14.

GOSAR, A. J. and HOPKINS, J. C. 1969. Structure and Stratigraphy of the Southwest Portion of the Rock Springs Uplift, Sweetwater, County, Wyoming. p. 3-5.

HALE, L. A. 1950. Stratigraphy of the Upper Cretaceous Montana Group in the Rock Springs Uplift, Sweetwater County, Wyoming. WGA, 2005 - Southwest Wyoming; 5th Annual Field Conference Guidebook, 1950. p. 8, 9.

HEASLER, H. P. and SURDAM R. C. 1992. Pressure Compartments in the Mesaverde Formation of the Green River and Washakie Basins, as Determined From Drill Stem Test Data. WGA, 2005 - Rediscover the Rockies; 43rd Annual Field Conference Guidebook, 1992. p. 211, 214, 215

KEITH, R. E. 1965. Rock Springs and Blair Formations on and Adjacent to the Rock Springs Uplift, Sweetwater County, Wyoming. WGA, 2005-Sedimentation of Late Cretaceous and Tertiary Outcrops, Rock Springs Uplift; 19th Annual Field Conference Guidebook, 1965. p. 1-8, 14.

HIGLEY, D.K., et. al. 2006. Petroleum System Modeling Capabilities for Use in Oil and Gas Resource Assessments. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2006. p. 1, 2, 4-10.

JOHNSON E. A. 2005. Geologic Assessment of Undiscovered Oil and Gas Resources in the Phosphoria Total Petroleum System, Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado: Version 1, 2005. p. 3-5, 11-14.

JOHNSON, R. C., FINN, T. M. and. ROBERTS L. N. R. 2005. The Mesaverde Total Petroleum System, Southwestern Wyoming Province. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado: Version 1, 2005. p. 6-11.

KASZUBA, J. P., et. al. 2011. Supercritical Carbon Dioxide and Sulfur in The Madison Limestone: A Natural Analog in Southwest Wyoming for Geologic Carbon–Sulfur Co-Sequestration. p. 133-135.

KIRSCHBAUM, M. A. AND ROBERTS, L. N. R. 2005. Stratigraphic Framework of the Cretaceous Mowry Shale, Frontier Formation and Adjacent Units,

Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado: Version 1, 2005. p. 9-13.

LAW, B. E. et al., 1986. Geologic Characterization of Low-Permeability Gas Reservoirs in Selected Wells, Greater Green River Basin, Wyoming, Colorado, and Utah. U.S. Geological Survey, Lakewood, Colorado. p. 256-257.

LAWRENCE O. A. 2009. Geologic Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Powder River Basin Province, Wyoming and Montana. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2009. p. 27, 34, 41, 42.

MARTINSEN, O. J. et al. 1999. Stratigraphic base level and fluvial architecture: Ericson Sandstone (Campanian), Rock Springs Uplift, SW Wyoming, USA. International Association of Sedimentologists. 1999. p. 3-10.

MONTGOMERY, S. L. 1966. Brady Unit, Rock Springs Uplift, Wyoming: Migration and Structural History. Copyright 1996. The American Association of Petroleum Geologists. p. 1537-1541.

Modified from 2007 Wyoming Statewide Water Plan (WWC Engineering, 2007). Plate 7. Geologic units and corresponding rock-stratigraphic units, Greater Green River Basin, Wyoming, Colorado, and Utah.

PETROMOD SIMULATOR: Advanced Technical Features
http://www.slb.com/services/software/geo/petromod_modeling_software/petromod_simulator_advanced_tech_features.aspx. 12/12/12. 13:03

PETROMOD. www.rageologia.org/petromod_esp. 12/12/12, 12:37

RAYMOND L.N. 1936. Summary of the Late Cretaceous and Tertiary Stratigraphy of Wyoming. p. 16, 31, 67.

RAWN-SCHATZINGER, V. and SCHATZINGER, R. A. 1993. Annotated Bibliography of Selected References on Shoreline Barrier Island With Emphasis on Patrick Draw Field, Sweetwater County, Wyoming. IIT Research Institute. National Institute for Petroleum and Energy Research. Bartlesville, Oklahoma. p. 1, 2, 31.

RAWN, V. AND DAWSON, D. 1994. Comparison of Shoreline Barrier Island Deposits from Wyoming, California and Texas. National Institute for Petroleum and Energy Research. p. 24-26.

ROBERTS L. N. R. et al. 2005. Burial History, Thermal Maturity, and Oil and Gas Generation History of Petroleum Systems in the Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado: Version 1, 2005. p. 1, 9, 16.

- ROEHLER. H. W. 1979. Geology and Mineral Resources of the Mud Springs Ranch Quadrangle, Sweetwater County, Wyoming. p. 4-6.
- ROBERTS L. N. R. et al. 2007. Burial History, Thermal Maturity, and Oil and Gas Generation History of Petroleum Systems in the Wind River Basin Province, Central Wyoming. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2007. p. 17.
- SEARS, J.D. 1924. Geology and Oil and Gas Prospects of Part of Moffat County, Colorado, and Southern Sweetwater County, Wyoming. Contributions to Economic Geology, 1923-1924, Part II. p. 295-296, 292-293.
- SMITH, M. S. et al. 2010. Baseline geochemical characterization of potential receiving reservoirs for carbon dioxide in the Greater Green River Basin, Wyoming. Department of Geology and Geophysics, University of Wyoming, Laramie, Wyoming 82071, U.S.A. p. 97.
- SULLIVAN. R. 1980. A Stratigraphic Evaluation of the Eocene Rocks of Southwestern Wyoming. The Geological Survey of Wyoming. Laramie, Wyoming. p. 4-6.
- SURDAM R. S. 2012. Site Characterization of the Highest-Priority Geologic Formations for CO₂ Storage in Wyoming. U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory Carbon Storage R&D Project Review Meeting Developing the Technologies and Building the Infrastructure for CO₂ Storage August 21-23, 2012 p. 9-11.

WEICHMAN, B. E. 1961. Regional Correlation of the Mesaverde Group and Related Rocks in Wyoming. WGA, 2005 - Symposium on Late Cretaceous Rocks, Wyoming and Adjacent Areas; 16th Annual Field Conference Guidebook, 1961. p. 3-5.

WEIMER, R. J. 1965. Stratigraphy and Petroleum Occurrences, Almond and Lewis Formations (Upper Cretaceous), Wamsutter Arch, Wyoming. WGA, 2005 - Sedimentation of Late Cretaceous and Tertiary Outcrops, Rock Springs Uplift; 19th Annual Field Conference Guidebook, 1965. p. 9, 10.

Wyoming State Geological Survey.
<http://www.wsgs.uwyo.edu/research/stratigraphy/RockSpringsUplift/RockSpringsUpliftALL.aspx>. 10/11/12. 12:59.

Wyoming State Geological Survey. <http://www.wsgs.uwyo.edu/Research/Water-Resources/GGRB/docs/CrossSection.pdf>. 29/04/13. 14:25.