

Forestal Oriental S.A.

Estudio de Impacto Ambiental

GEOLOGIA & HIDROGEOLOGIA

Primer Informe de Avance
Lic. Alejandro Schipilov

Introducción

Este primer informe de avance colecta y expone los resultados parciales obtenidos a lo largo de esta etapa inicial de definición del medio geológico e hidrogeológico, enfocada a la ponderación de los posibles impactos causados por la actividad forestal en todas sus etapas – implantación, crecimiento y cosecha – en el subsuelo.

El objetivo perseguido es cuantificar y calificar la información geológica e hidrogeológica disponible en las cuencas de orden tres que se seleccionen; identificar y mensurar la información que no se dispone y la pertinencia o no de realizar relevamiento específicos para su consecución; interactuar con los demás profesionales que integran el equipo de trabajo para lograr un definir un índice que clasifique al territorio en cuanto a la cantidad y calidad de información existente con tal de cumplir el objetivo del Proyecto; y finalmente lograr redactar un informe que integre a todas las disciplinas de forma natural y equilibrada, con todo el soporte gráfico que sea necesario. La compañía pretende realizar una línea de base respecto al conocimiento del medio físico y social de los predios que posee, de tal manera de definir los vacíos de información para cuantificar, evaluar y discutir el impacto ambiental de la actividad que desarrolla.

En esta primera etapa se ha seleccionado la cuenca del Arroyo Grande en el Dpto. de Río Negro como área de estudio inicial, sin descuidar la información que pueda existir en el resto de las cuencas.

Las tareas que se han desarrollado y que se expondrán en este informe son las siguientes:

- a) Para las cuencas de orden 3 en los Dptos. de Paysandú, Río Negro, Soriano y Tacuarembó
 - Definición geográfica de cuencas para selección por parte del equipo de trabajo;
 - DEM de Tacuarembó, delimitación de cuencas de orden 3, selección de cuencas para estudio;
 - Obtención de mapas geológicos por cuenca a escala 1/500.000 con sus memorias explicativas iniciales;
 - Definición de áreas con cobertura geológica detallada a escala 1/50.000 para cada cuenca;
 - Ubicación de perforaciones antecedentes;
 - Clasificación inicial de acuíferos por cuenca;

- b) Para la cuenca del Arroyo Grande en el Dpto. de Río Negro:
 - Cartografía geológica a escala 1/500.000 de toda la cuenca;
 - Cartografía geológica a escala 1/20.000 disponible;
 - Definición de la cobertura aerofotográfica 1/20.000 del año 1966 disponible;
 - Mapeo de áreas riparianas;
 - Clasificación de acuíferos en la zona;

Indice	
Introducción	p. 1
Indice	p. 2
Cuencas de Orden Tres	p. 3
Fundamentación y Antecedentes	p. 3
Selección de cuencas de orden tres para análisis	p. 6
Cuencas de orden 3 en el Dpto. de Tacuarembó	p. 8
Geología a escala 1/500.000 de las cuencas	p. 10
<i>Formación San Gregorio</i>	p. 17
<i>Formación Melo</i>	p. 19
<i>Formación Yaguari</i>	p. 21
<i>Formación Cuchilla Ombú</i>	p. 22
<i>Formación Tacuarembó</i>	p. 23
<i>Formación Rivera</i>	p. 25
<i>Formación Cuaró</i>	p. 26
<i>Formación Arapey</i>	p. 27
<i>Formación Guichón</i>	p. 28
<i>Formación Mercedes</i>	p. 29
<i>Formación Asencio</i>	p. 32
<i>Formación Fray Bentos</i>	p. 34
<i>Formación Salto</i>	p. 35
<i>Formación Dolores</i>	p. 37
<i>Aluviones</i>	p. 38
Cartografía detallada a escala 1/50.000 por cuenca	p. 39
Hidrogeología de las cuencas en análisis	p. 41
<i>Conceptos Fundamentales</i>	p. 41
<i>Clasificación hidrogeológica de las cuencas analizadas</i>	p. 43
Cuenca del Arroyo Grande	p. 50
Cartografía geológica a escala 1/500.000	p. 50
Cartografía geológica a escala 1/20.000 de la cuenca	p. 52
<i>Aluviones</i>	p. 53
<i>Fm. Mercedes areno-arcilloso Superior</i>	p. 54
<i>Fm. Mercedes areno-arcilloso y Fm. Mercedes aflorante</i>	p. 54
<i>Fm. Guichón aflorante</i>	p. 56
<i>Fm. Guichón areno-arcilloso</i>	p. 57
<i>Fm. Arapey (intertraps)</i>	p. 58
<i>Fm. Arapey (basaltos)</i>	p. 58
Cobertura fotográfica a escala 1/20.000 disponible	p. 59
Tareas a Ejecutar	p. 61

Cuencas de Orden Tres

Fundamentación y Antecedentes

Los primeros estudios morfométricos (medida o cuantificación de la forma) en el campo de la hidrología fueron iniciados originalmente por R. E. Horton y A. E. Strahler en las décadas de 1940 y 1950, intentando descifrar las propiedades holísticas de la red de drenaje a partir de la medición de varios atributos de los cursos superficiales.

Uno de los primeros atributos a cuantificar fue la jerarquía de los segmentos de los cursos superficiales de acuerdo a un esquema de clasificación propuesto por Strahler (1952)¹ en el que todos los tributarios sin afluentes llevan el número uno (u orden 1) y a medida que coalescen aguas abajo dos cursos de igual orden al resultante se le asigna el orden inmediatamente superior, tal como se expone en la figura 1.

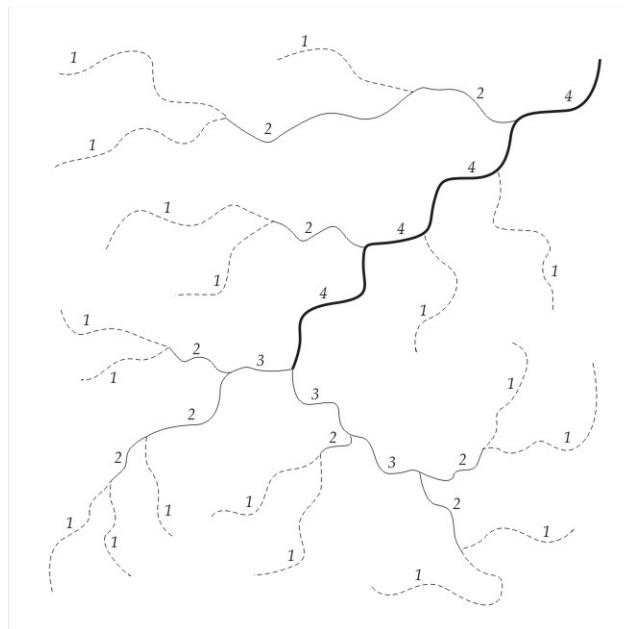


Figura 1: Clasificación de Strahler.

Tal como puede observarse, todos los pequeños cursos de la cabecera de la red fluvial que carecen de tributarios tienen orden uno. Cuando dos cursos de igual orden se juntan, el resultante suma un orden jerárquico.

El análisis de esta información revela algunas relaciones muy interesantes. Por ejemplo, la razón entre el número de cursos de un orden y el del siguiente, denominado tasa de bifurcación es consistentemente un número alrededor de tres. Horton (1945)² denominó a esta singular asociación “Ley de número de cursos”.

Según la figura existen 18 cursos de orden 1, 8 de orden 2, 3 de orden 3 y uno solo de orden 4. La tasa de bifurcación del orden 2 respecto al 1 es de $18/8=2.25$; del orden 3 respecto al 2 es de $8/3=2.67$ y finalmente la del orden 4 respecto al 3 es exactamente 3.

¹ Strahler, A. N. (1952). “Dynamic basis of geomorphology,” Geological Society of America Bulletin, 63, 923-938.

² Horton, R. E. (1945). “Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology,” Geological Society of America Bulletin, 56, 275-370.

R. E. Horton aplicó el análisis morfométrico a una variedad de atributos de los cursos de agua superficial, obteniendo una serie de leyes de la composición del drenaje denominadas “parámetros Hortonianos del drenaje” en la literatura del tópico. Entre ellas cabe destacar la ley de longitudes de cursos donde sugiere que existe una relación geométrica entre el número de cursos de cada orden sucesivo. La ley de las áreas de cuenca indica que la media del área de la cuenca de órdenes sucesivos forma un arreglo lineal cuando son graficadas.

Adicionalmente a las relaciones matemáticas encontradas en el ordenamiento de los cursos en una red de drenaje, varios aspectos de su forma también pueden ser cuantificados. Una de esas relaciones es la densidad de drenaje, determinando la longitud de canal de drenaje por unidad de área de la cuenca respectiva. La determinación de la densidad de drenaje permite evaluar el potencial de escorrentía y disección del paisaje, que son responsables entre otras cosas de la capacidad de infiltración de agua al subsuelo y erodabilidad del medio.

La representación gráfica de las leyes se expone en la figura 2 para un ejemplo estudiado por Strahler. En la tabla 1 se muestran los valores analíticos.

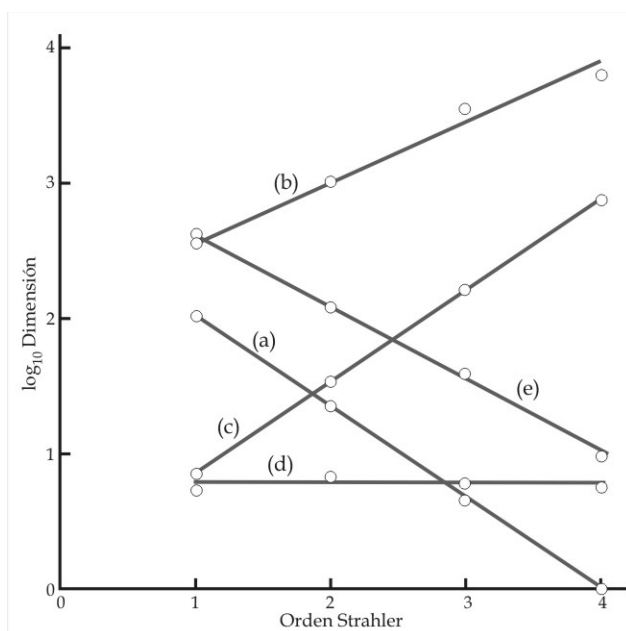


Figura 2: Ejemplo típico de las relaciones de Strahler (parámetros Hortonianos) para las cuencas.

Dimensión	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
<i>Orden Strahler</i>	<i>Número de cursos</i>	<i>Longitud promedio</i>	<i>Área promedio de la cuenca</i>	<i>Densidad de drenaje</i>	<i>Promedio de la pendiente del canal</i>
1	104	364	6.97	5.45	396
2	22	993	33.73	7.02	123
3	5	3432	161.97	6.06	39
4	1	6283	747.14	5.66	10

Tabla 1: Datos analíticos de los parámetros Hortonianos fundamentales para las cuencas estudiadas por Strahler.

El parámetro (a) se relaciona específicamente con la tasa de bifurcación. Cuando la composición geológica de la cuenca es razonablemente homogénea, este valor se ubica en el rango comprendido entre 3 y 5. La dimensión (b) se denomina razón de longitud, y su determinación permite prever la longitud media de los cursos para un orden dado no determinado. De forma similar, el parámetro (c) relaciona las áreas de las cuencas en los diferentes órdenes.

La densidad de drenaje – parámetro (d) – es uno de los factores más importantes relacionados al área de una cuenca, y queda determinado por la relación entre la geología y el clima imperante en la cuenca, que permite diferentes evoluciones morfométricas de la red de drenaje. La pendiente media de la cuenca (e) evalúa de manera gráfica las variaciones geomorfológicas mayores entre los distintos órdenes.

Cuando estos parámetros – o dimensiones – se grafican tal como se expuso líneas arriba, aparecen algunas características particulares que fueron las que llamaron la atención de Horton: como es de esperar, el número de cursos y la pendiente media son inversamente proporcionales al número de orden de Strahler. La longitud promedio y el área media de la cuenca son directamente proporcionales al orden de Strahler. La densidad media de drenaje se mantiene constante, siempre y cuando los parámetros geológicos y climáticos sean homogéneos en el área investigada.

El hecho más notable es que estas dimensiones morfométricas conservan una relación exponencial notable que puede visualizarse como una línea recta cuando son graficadas en un diagrama semilogarítmico.

Forestal Oriental S.A. solicitó la clasificación de cursos y cuencas según el esquema de Strahler para los departamentos de Paysandú, Río Negro y Soriano. Los cursos definidos se exponen en la tabla 2.

Orden	# Cursos	Long. Media
1	1574	6242m
2	342	8343m
3	69	19785m
4	16	60320m
5	5	n/c
6	2	n/c
7	1	n/c

Tabla 2: Número de cursos y sus correspondientes longitudes media para los cursos clasificados.

Los cursos de orden 5, 6 y 7 son fundamentalmente parciales así como sus cuencas. Por esta razón no se tienen en cuenta para el análisis. Los parámetros Hortonianos fundamentales para las cuencas se presentan en la tabla 3 y un esquema de los cursos interpretados en la figura 3.

Orden #	1	2	3	4	5	6	7
Cursos	1574	342	69	16	2	--	--
LMR cursos (km)	6.24	8.34	19.79	60.32	214	--	--
Area cuenca (km²)	10.48	69.83	285	1488	5414	--	--
Compacidad	1.44	1.52	1.59	1.81	1.65	--	--
Densidad Drenaje (km/km²)	0.60	0.12	0.07	0.04	0.04	--	--
Pendiente Media (%)	--	0.37	0.28	0.15	0.10	--	--
Altura media (m)	--	72	93	102	83	--	--

Factor de forma	--	0.23	0.24	0.14	0.11	--	--
Coef. Orográfico	--	118.7	55.6	7.7	1.4	--	--
Indice Alargamiento	--	13.8	2.6	3.0	2.2	--	--
Coef. Masividad	--	1.49	0.46	0.08	0.02	--	--

Tabla 3: Parámetros hortonianos de las cuencas interpretadas.

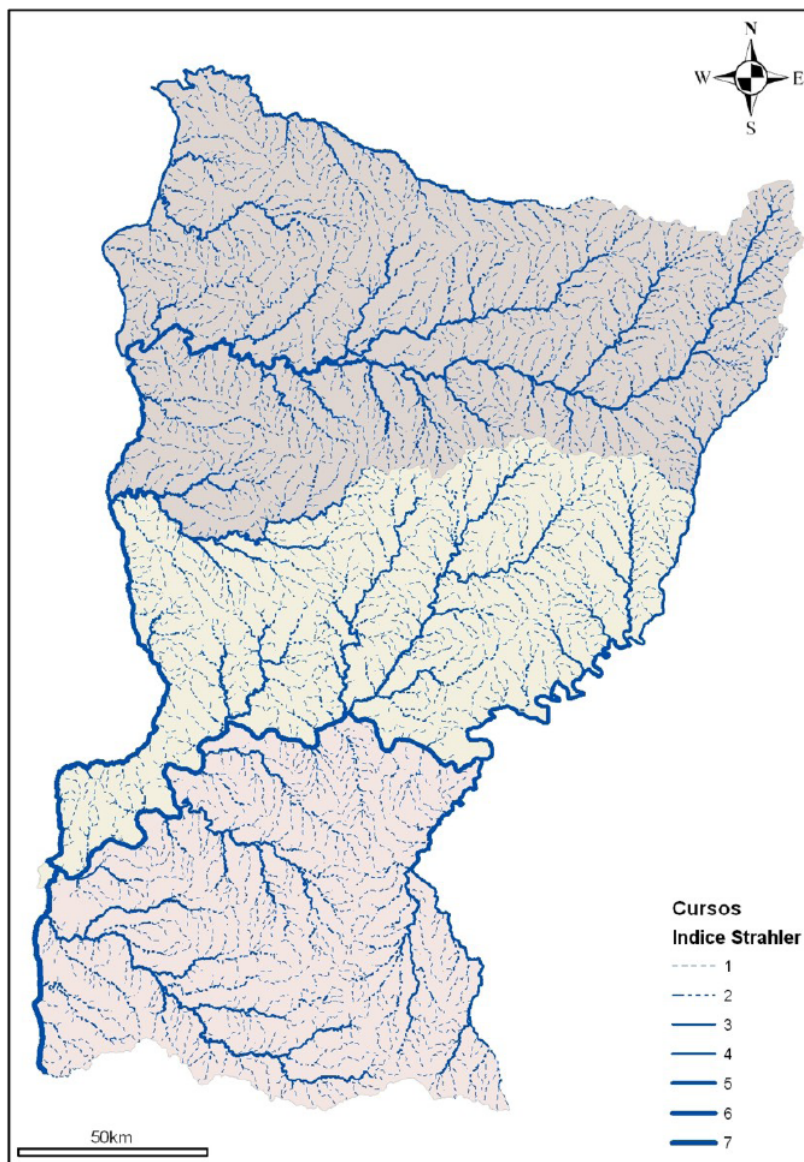


Figura 3: Cursos interpretados para los Dptos. de Paysandú, Río Negro y Soriano.

Selección de cuencas de orden tres para análisis

A partir del cruce de la información del patrimonio de Forestal Oriental y de las cuencas definidas en los departamentos de Paysandú, Río Negro y Soriano se seleccionaron 16 cuencas de orden tres donde el porcentaje de territorio en poder de la compañía fuese cercano o superior al 10%. La distribución geográfica se expone en la figura 4.

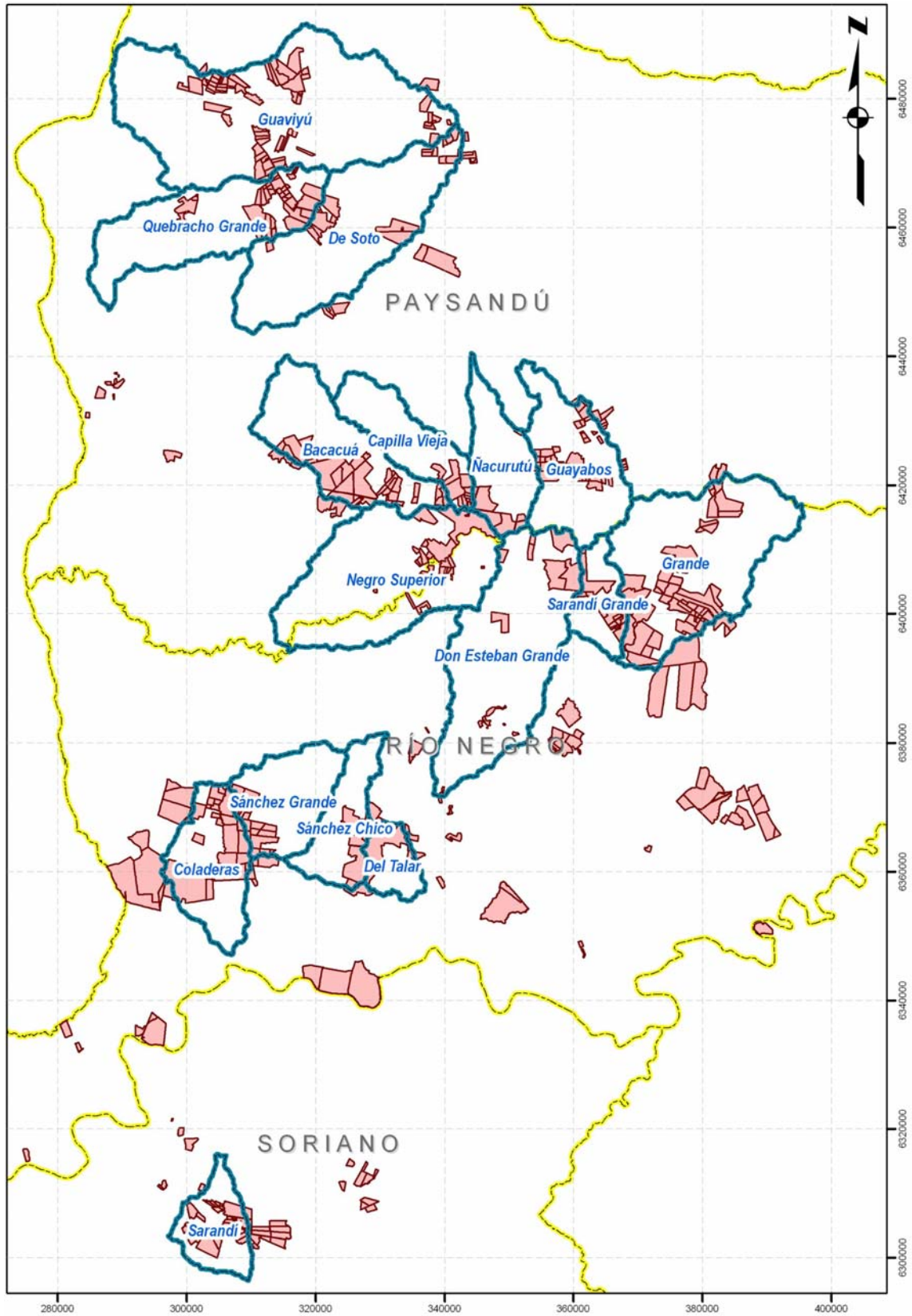


Figura 4: Cuencas seleccionadas en los Dptos. de Paysandú, Río Negro y Soriano.

Para cada una de las cuencas de orden 3 interpretadas se asignó un código de 5 cifras y el nombre del curso de agua principal. Las seleccionadas, junto con la superficie total, la superficie en propiedad de Forestal Oriental S.A. y el porcentaje del territorio de la cuenca en propiedad de la compañía se listan en la tabla 4.

Código	Nombre	Sup. Total (há)	Sup. FOSA (há)	% del total de FOSA
30044	Coladeras	23674	10137	42.8
30047	Del Talar	8103	3114	38.4
30021	Bacacué	31020	9417	30.4
30036	Sarandí Grande	11267	3176	28.2
30035	Grande	53855	14913	27.7
30053	Sarandí	13994	3657	26.1
30046	Sánchez Chico	16838	3401	20.2
30017	Quebracho Grande	37040	6905	18.6
30023	Ñacurutú	18213	3199	17.6
30026	Negro Superior	54407	9417	17.3
30045	Sánchez Grande	21377	3592	16.8
30027	Guayabos	29093	4729	16.3
30022	Capilla Vieja	18217	2395	13.1
30015	Guaviyú	85438	9422	11.0
30018	De Soto	48560	4657	9.6
30037	Don Esteban Grande	54047	4737	8.8

Tabla 4: Cuencas seleccionadas ordenadas por porcentaje decreciente del territorio en manos de Forestal Oriental S.A.

De estas cuencas se seleccionó la del Arroyo Grande (30035) para el estudio inicial detallado completo del impacto de la actividad forestal en el medio que es sujeto de la segunda parte del informe.

Cuencas de orden 3 en el Dpto. de Tacuarembó

Se realizó un modelo digital del terreno del departamento de Tacuarembó a partir de las curvas de nivel del Servicio Geográfico Militar con una grilla de 50m de lado (figura 5). A partir de ese documento se ejecutaron los algoritmos de álgebra de mapas que permiten delinear semiautomáticamente las cuencas de orden 1 para el Departamento. Se digitalizaron los cursos de agua de orden 1, 2, 3, 4 y 5 y se asignaron los valores ordinales para cada cuenca respectiva. Asimismo se digitalizaron las cuencas de orden 3 de todo el departamento y se cruzó con la información del patrimonio de Forestal Oriental S.A.

Como resultado se determinaron 11 cuencas en Tacuarembó donde el patrimonio de Forestal Oriental S.A. es significativo como para incluirlas en el análisis global que se listan en la tabla 5 y exponen gráficamente en la figura 6.

Código	Nombre	Sup. Total (há)	Sup. FOSA (há)	% del total de FOSA
30102	Blanquillo	3510	1100.0	31.3
30109	Furtado	8511	2401.8	28.2
30105	Del Sauce	13481	2530.0	18.8
30101	Bañado de Rocha	8247	1473.0	17.9
30108	Viraró	5412	885.6	16.4
30103	Molles	5610	656.1	11.7

30106	Corral de Piedra	8850	920.0	10.4
30107	Vera	17961	1401.5	7.8
30110	De Clara	46165	3236.4	7.0
30100	Gajo Sur del Tres Cruces	14574	498.5	3.4
30104	Batoví	18299	502.2	2.7

Tabla 5: Cuencas seleccionadas en el Dpto. de Tacuarembó

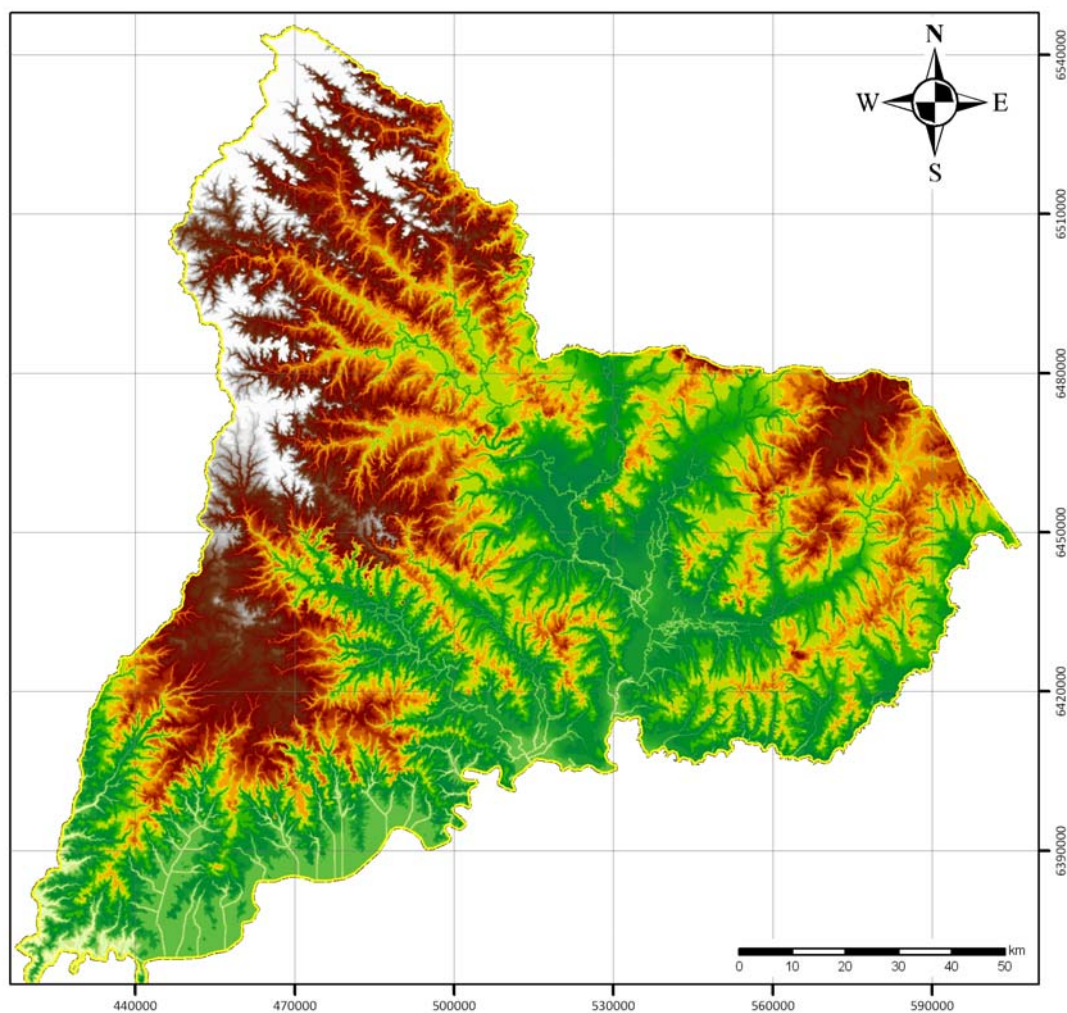


Figura 5: Modelo digital del terreno del Dpto. de Tacuarembó.

Como se desprende de la tabla 5, las cuencas del Arroyo Blanquillo (30102) y del Arroyo Furtado (30109) poseen más de la cuarta parte de su superficie en manos de la compañía. Especialmente la cuenca del Arroyo Blanquillo tiene una superficie total de 3510 hectáreas, volviéndose en un sujeto de estudio manejable y abarcable para un análisis en profundidad del impacto de la industria forestal en el centro Norte del país.

Cabe aclarar que la cuenca del Arroyo De Clara (30110) posee un área desusadamente grande para una de orden 3, aunque como puede apreciarse en el DEM de la figura 5 se trata efectivamente de una cuenca enorme sin tributarios de mayor orden que 2.

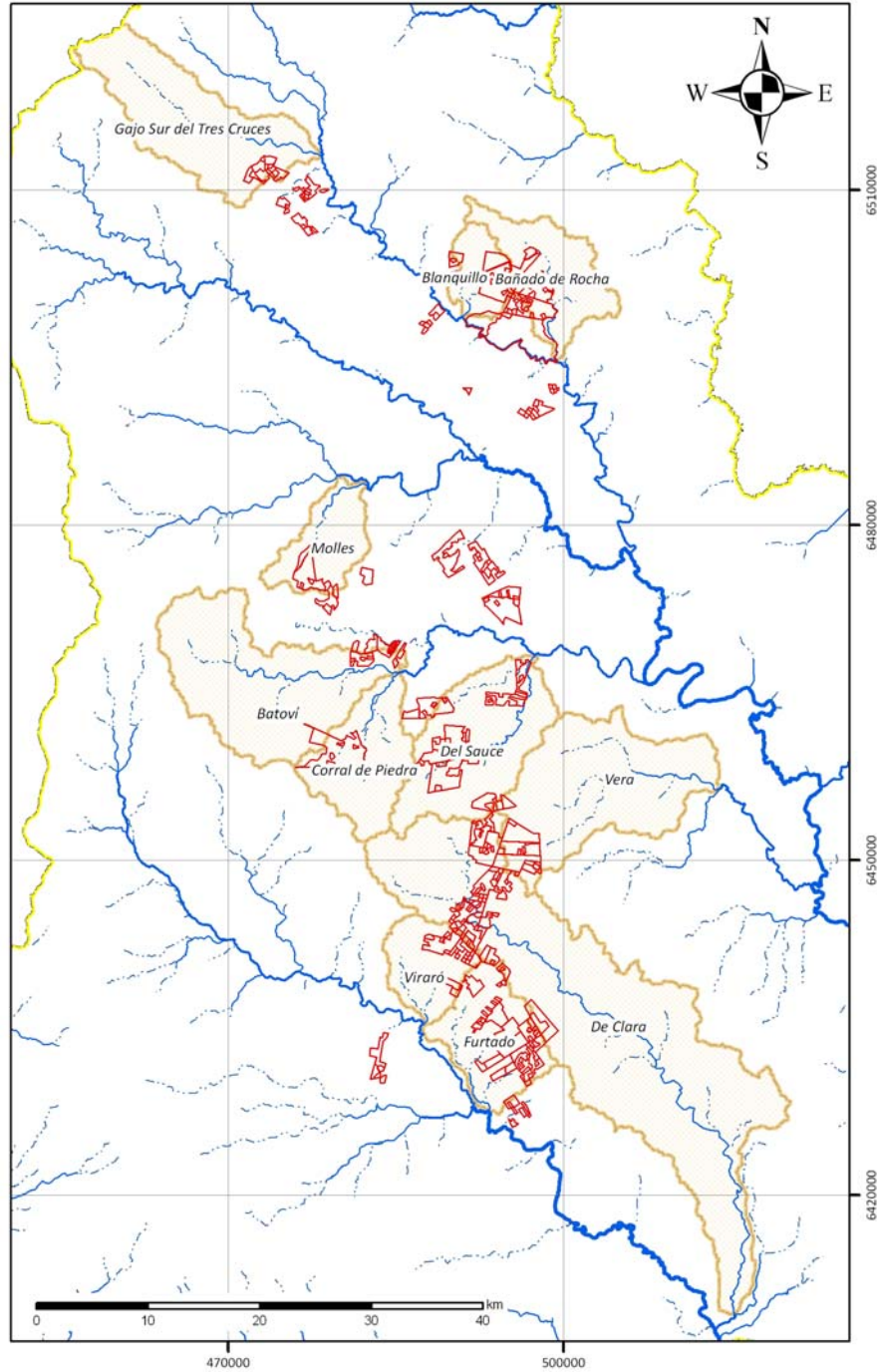


Figura 6: Cuencas seleccionadas para el relevamiento en el Dpto. de Tacuarembó.

Geología a escala 1/500.000 de las cuencas

Todo el país cuenta con cobertura geológica a escala 1/500.000 en formato digital. A los efectos de la tarea que se plantea aquí, se utilizará la base geológica de Bossi et al. (1998)³ en formato vectorial, de tal manera de definir la composición geológica de cada una de las 27 cuencas de orden 3 (16 en los

³ Bossi, J.; Ferrando, L.A.; Montaña, J.; Campal, N.; Morales, H.; Gancio, F.; Schipilov, A.; Sprechman, P. & D. Piñeyro (1998). Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000 - 1998. Ed. Geoditores S.R.L., Montevideo.

departamentos de Paysandú, Río Negro y Soriano más las 11 de Tacuarembó). Los resultados se presentarán en las figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y en las tablas 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

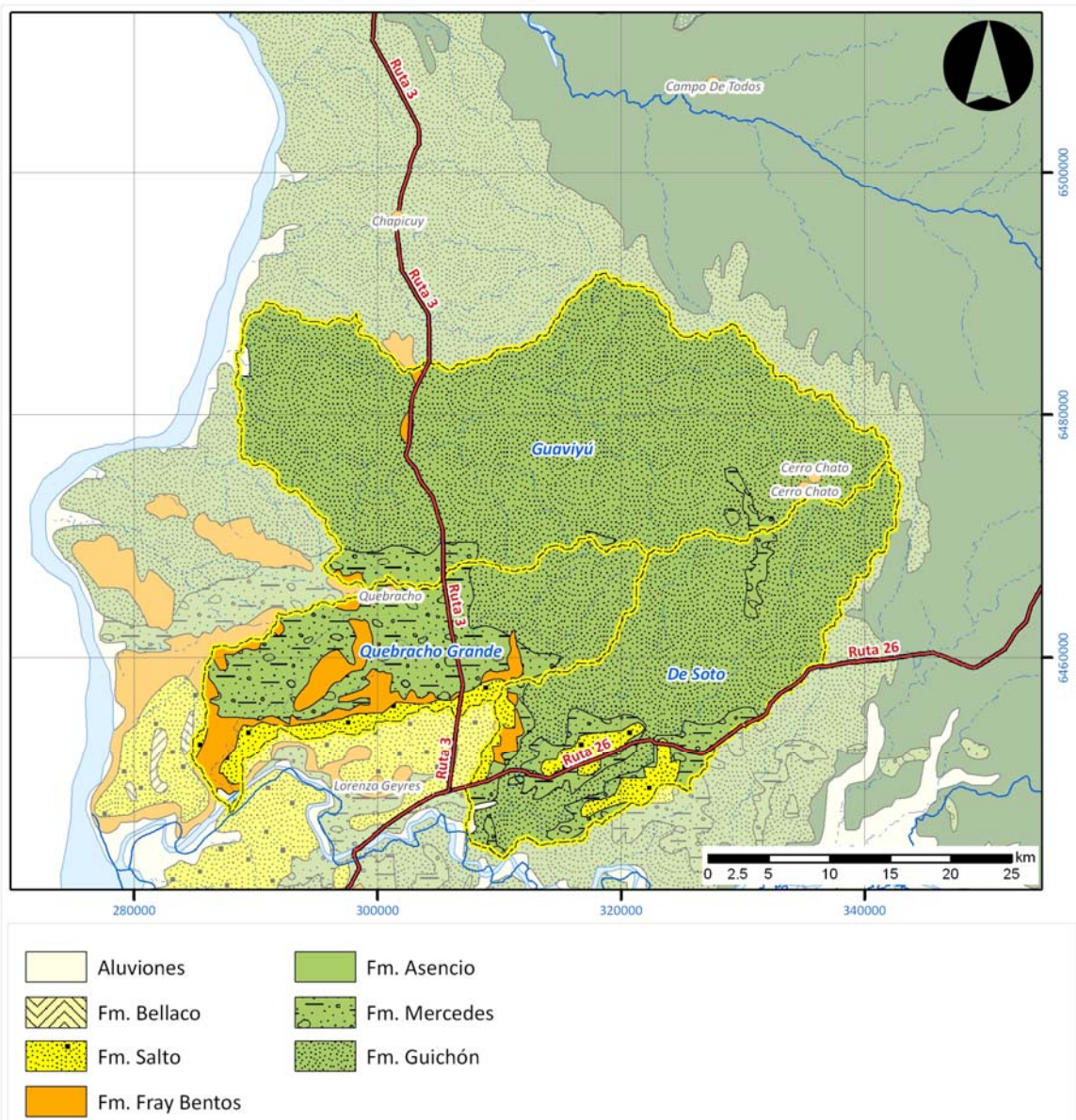


Figura 7: Carta geológica a escala 1/500.000 de las cuencas Guaviyú, Quebracho Grande y De Soto.

Unidad Geológica	Guaviyú		Quebracho Gde.		De Soto	
	30015	30017	30015	30017	30018	30018
	Area (há)	%	Area (há)	%	Area (há)	%
Aluviones	230.7	0.27	164.0	0.44	202.6	0.42
Fm. Salto			3315.7	8.96	3889.4	8.02
Fm. Fray Bentos	498.3	0.58	6255.7	16.91	574.3	1.18
Fm. Mercedes	3879.6	4.54	16913.1	45.72	8026.6	16.54
Fm. Guichón	80864.0	94.61	10343.6	27.96	35829.7	73.84

Tabla 6: Areas y porcentaje del total de las unidades geológicas por cuenca.

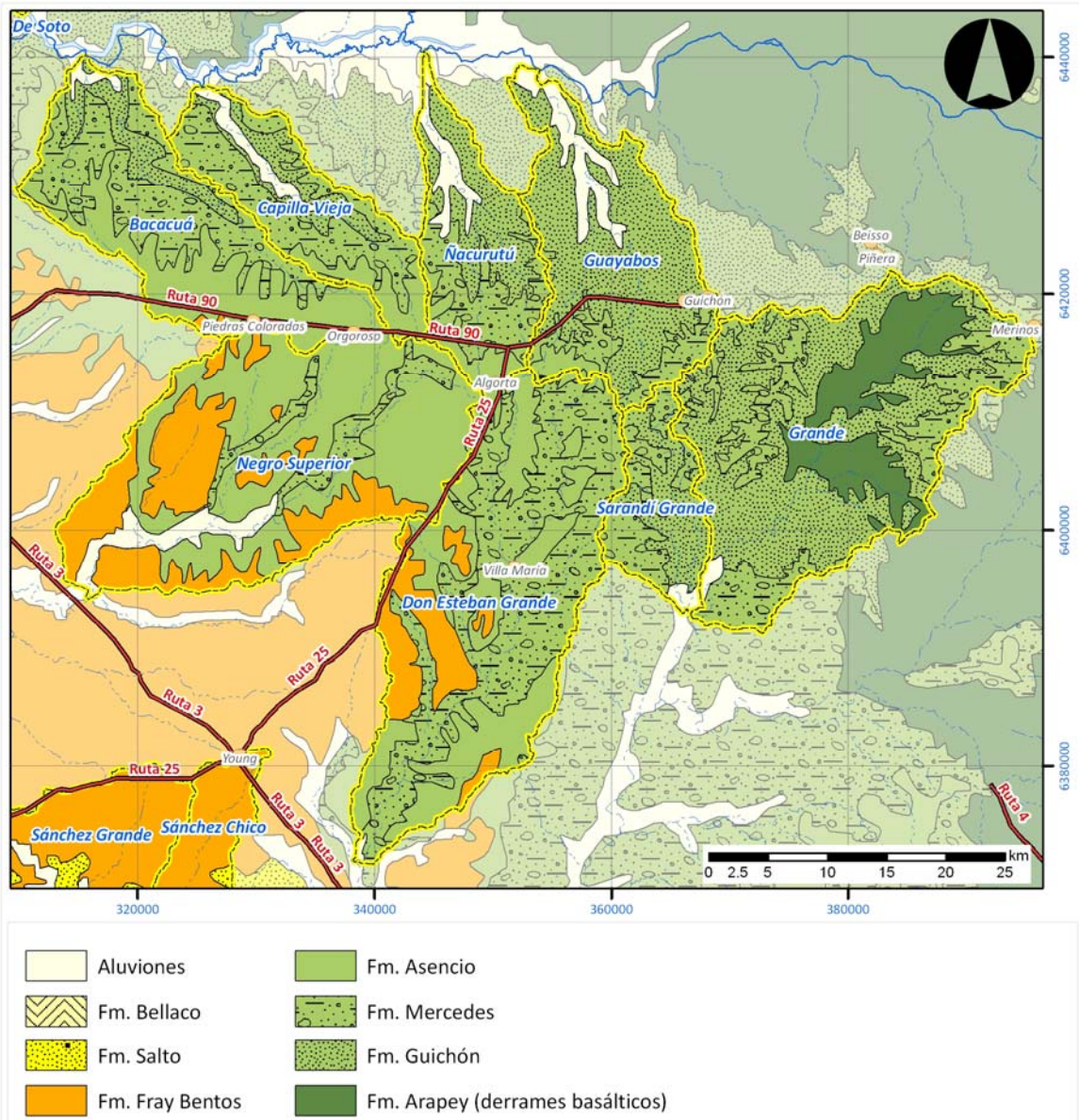


Figura 8: Carta geológica a escala 1/500.000 de las cuencas Bacacúa, Capilla Vieja, Ñacurutú, Guayabos, Negro Superior Don Esteban Grande, Sarandí Grande y Grande.

Unidad Geológica	Bacacúa		Capilla Vieja		Ñacurutú		Negro Superior	
	30021	30022	30023	30026	30021	30022	30023	30026
Aluviones	515.1	1.66	1419.5	7.79	1816.6	9.98	3270.4	6.01
Fm. Dolores					176.1	0.97		
Fm. Salto								
Fm. Fray Bentos	508.0	1.64		0.00			17404.5	32.00
Fm. Asencio	12624.2	40.69	2961.2	16.25	2236.8	12.29	29331.1	53.92
Fm. Mercedes	13628.9	43.93	10253.3	56.26	6752.4	37.11	4387.1	8.07
Fm. Guichón	3745.4	12.07	3591.5	19.71	7213.7	39.65		
Fm. Arapey								

Tabla 7a: Areas y porcentaje del total de las unidades geológicas por cuenca.

Unidad Geológica	Guayabos		Grande		Sarandí Grande		Don Esteban Gde.	
	30027		30035		30036		30037	
	Area (há)	%	Area (há)	%	Area (há)	%	Area (há)	%
Aluviones	3216.8	10.95	424.9	0.79	543.1	4.83	133.7	0.25
Fm. Dolores								
Fm. Salto								
Fm. Fray Bentos							7619.1	14.14
Fm. Asencio	1033.5	3.52					18298.7	33.95
Fm. Mercedes	4683.3	15.94	13406.6	24.88	5327.7	47.35	27840.8	51.66
Fm. Guichón	20448.8	69.60	28571.8	53.03	5380.8	47.82		
Fm. Arapey			11473.8	21.30				

Tabla 7b: Areas y porcentaje del total de las unidades geológicas por cuenca.

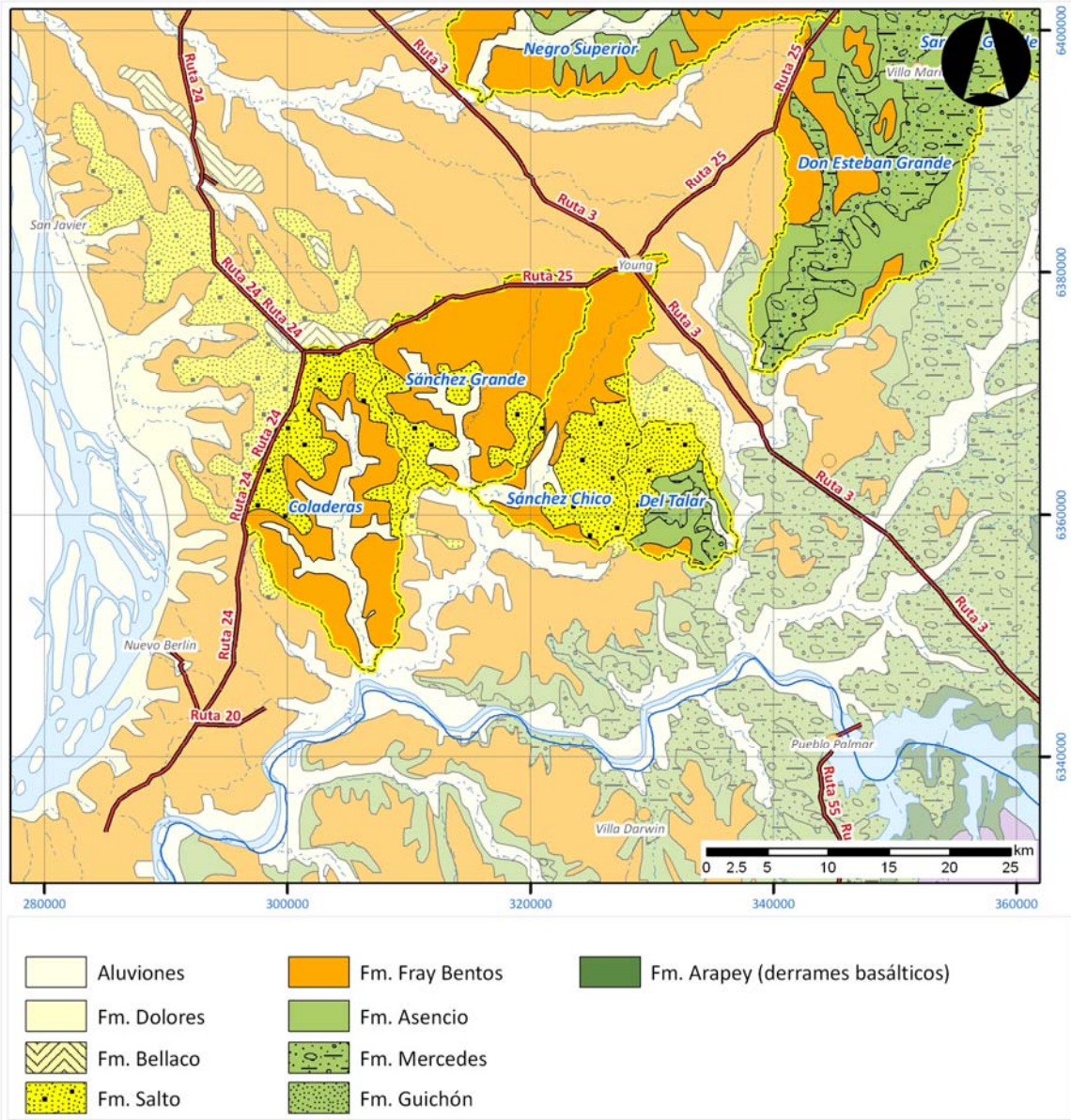


Figura 9: Carta geológica a escala 1/500.000 de las cuencas Coladeras, Sánchez Grande, Sánchez Chico y Del Talar.

Unidad Geológica	Coladeras		Sánchez Grande		Sánchez Chico		Del Talar	
	30044		30045		30046		30047	
	Area (há)	%	Area (há)	%	Area (há)	%	Area (há)	%
Aluviones	5151.2	21.78	2160.9	10.11	1716.1	10.21	398.5	4.91
Fm. Bellaco	128.5	0.54	42.8	0.20				
Fm. Salto	7009.8	29.64	4517.3	21.14	6856.5	40.79	3449.3	42.51
Fm. Fray Bentos	11362.8	48.04	14643.8	68.54	8235.7	49.00	447.0	5.51
Fm. Asencio							2087.3	25.72
Fm. Mercedes							1732.0	21.35

Tabla 8: Areas y porcentaje del total de las unidades geológicas por cuenca.

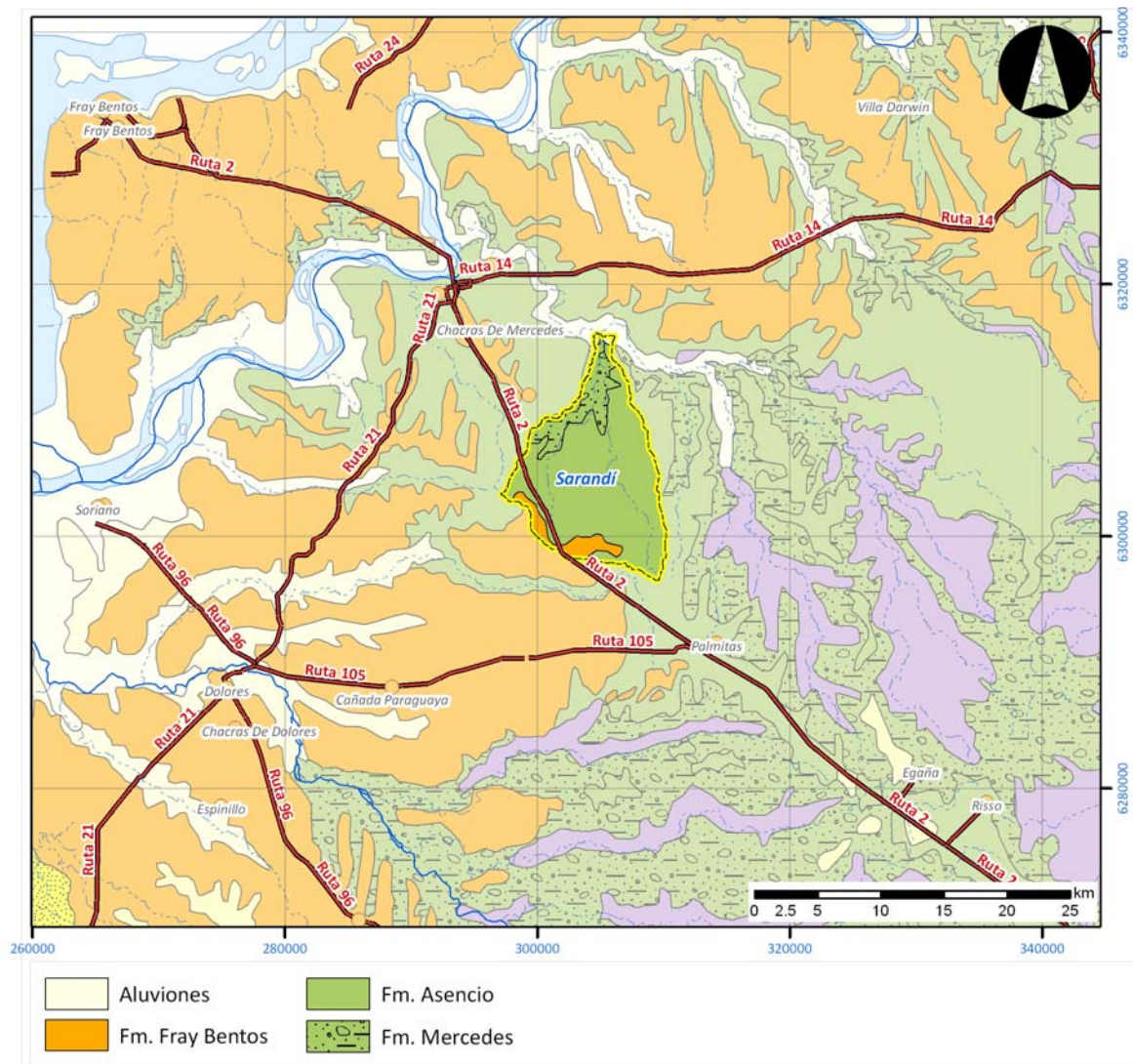


Figura 10: Carta geológica a escala 1/500.000 de la cuenca Sarandí.

Sarandí		
30044		
Unidad Geológica	Area (há)	%
Aluviones	943.0	6.37
Fm. Fray Bentos	1027.3	6.94
Fm. Asencio	11008.7	74.33
Fm. Mercedes	1831.8	12.37

Tabla 9: Areas y porcentaje del total de las unidades geológicas por cuenca.

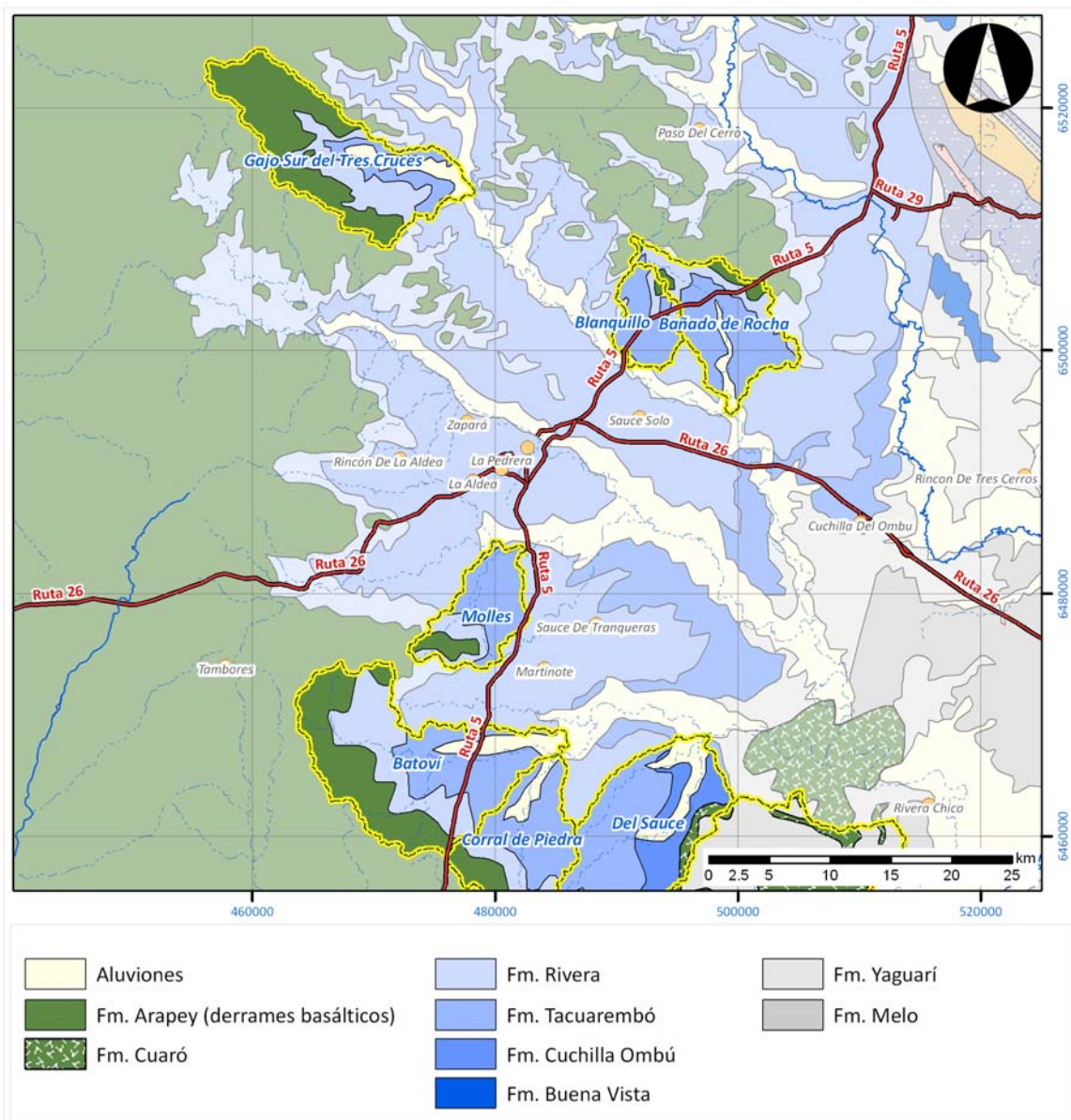


Figura 11: Carta geológica a escala 1/500.000 de las cuencas Gajo Sur del Tres Cruces, Blanquillo, Bañado de Rocha y Molles.

Unidad Geológica	Gajo S del T.Cruces		Blanquillo		Bdo. De Rocha		Molles	
	30100	30102	30101	30103	Area (há)	%	Area (há)	%
Aluviones	1430.7	9.82	70.1	2.00	594.8	7.21	69.4	1.24
Fm. Arapey	7869.3	54.00	101.7	2.90	792.9	9.61	772.5	13.77
Fm. Rivera	3245.0	22.27	534.3	15.22	1791.7	21.73	1176.1	20.96
Fm. Tacuarembó	2028.7	13.92	2803.7	79.88	5067.2	61.45	3591.9	64.03

Tabla 10: Areas y porcentaje del total de las unidades geológicas por cuenca.

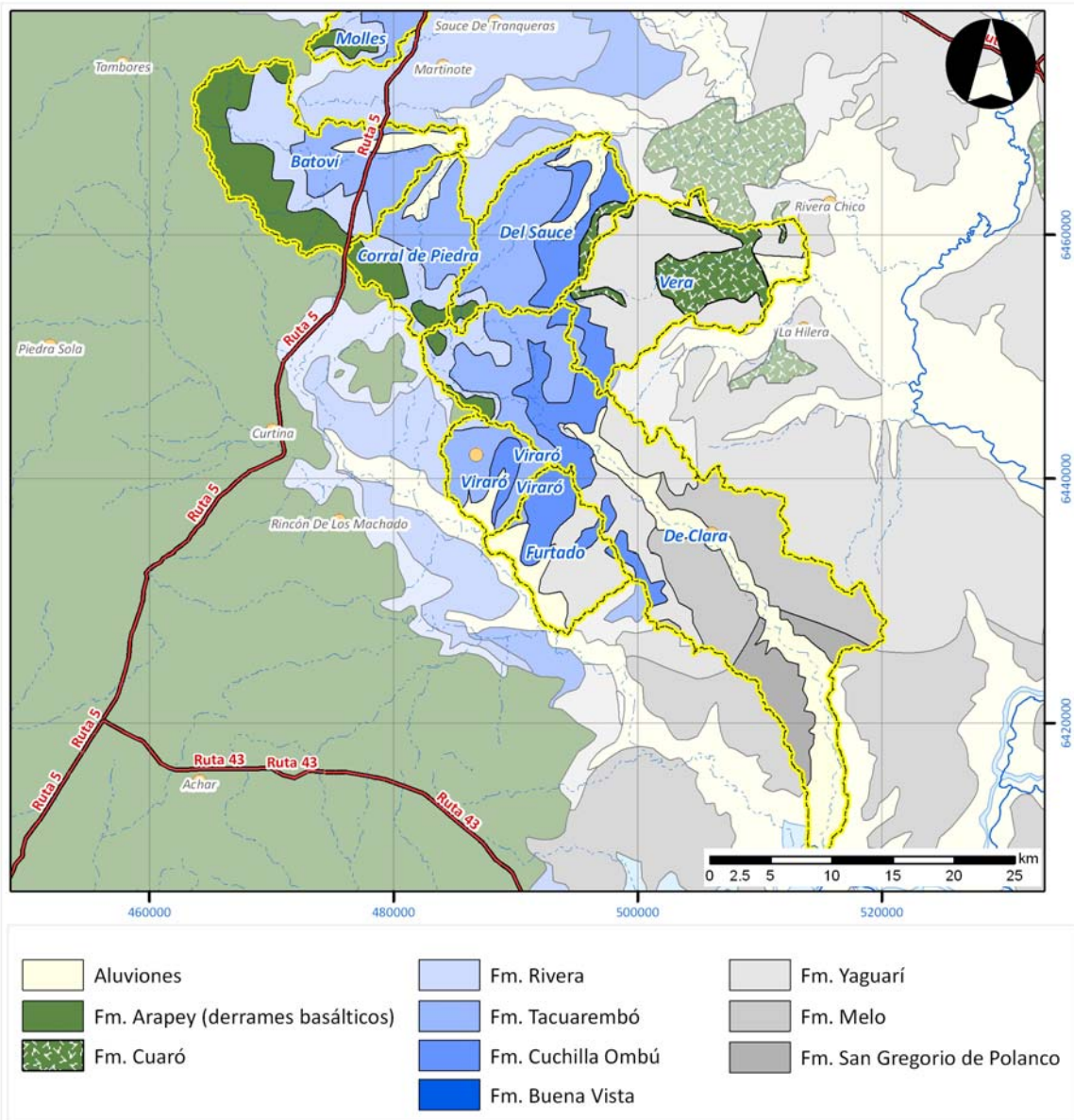


Figura 12: Carta geológica a escala 1/500.000 de las cuencas Batoví, Corral de Piedra, Del Sauce, Vera, De Clara, Viraró y Furtado.

Unidad Geológica	Batoví		Corral de Piedra		Del Sauce		Vera	
	30104		30106		30105		30107	
	Area (há)	%	Area (há)	%	Area (há)	%	Area (há)	%
Aluviones	1361.2	7.40	680.7	7.69	1728.9	12.82	850.6	4.74
Fm. Arapey	6855.6	37.26	1791.9	20.25	307.2	2.28		
Fm. Cuaró					633.1	4.70	4774.7	26.61
Fm. Rivera	4939.7	26.85	1962.7	22.18	407.3	3.02		
Fm. Tacuarembó	5243.0	28.50	4414.4	49.88	6728.6	49.91	323.7	1.80
Fm. Cuchilla Ombú					3387.0	25.12	1387.6	7.73
Fm. Yaguarí					288.7	2.14	10605.4	59.11

Unidad Geológica	De Clara		Viraró		Furtado	
	30110		30108		30109	
	Area (há)	%	Area (há)	%	Area (há)	%
Aluviones	8403.0	18.22	669.1	12.37	1943.3	22.83
Fm. Arapey	715.4	1.55	30.2	0.56		
Fm. Rivera	2018.8	4.38	208.1	3.85		
Fm. Tacuarembó	5773.0	12.51	3537.6	65.38	205.1	2.41
Fm. Cuchilla Ombú	4951.0	10.73	966.1	17.85	2699.2	31.72
Fm. Yaguarí	6321.5	13.70			3662.9	43.04
Fm. Melo	13435.6	29.12				
Fm. San Gregorio	4513.7	9.78				

Tabla 11: Areas y porcentaje del total de las unidades geológicas por cuenca.

A continuación se describirán sucintamente cada una de las unidades que conforman el subsuelo de las 27 cuencas interpretadas en el litoral Oeste y en el centro-Norte del Uruguay de acuerdo a la memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay en versión digital de Bossi et al. (1998) con aquellas modificaciones pertinentes para simplificar la comprensión respecto al tema al que hace referencia este informe.

Formación San Gregorio

La formación San Gregorio aflora fundamentalmente en el Noreste del Dpto. de Durazno, en el Sur de Tacuarembó y en el centro-Oeste de Cerro Largo. Hay afloramientos aislados a lo largo del límite entre Tacuarembó y Rivera y en el extremo Oeste de Durazno, en el límite con Río Negro.

El área de afloramiento de esta unidad geológica ocupa el 1.6% de la superficie continental de nuestro país (290.300 hectáreas) tal como se puede ver en la figura 13.

San Gregorio es la primera unidad del Paleozoico en sedimentarse. De esta manera se transforma en el piso de la sedimentación gondwánica en el Uruguay. La edad en base al contenido fosilífero es Pérmico Inferior (aprox. 295 millones de años). Se apoya mediante contactos erosivos o bien sobre rocas del basamento cristalino o bien sobre rocas devónicas del Grupo Durazno.

El “Gondwana sedimentario” del Uruguay se divide de la siguiente manera:

	Formación San Gregorio
	Haz Corral de Piedra
Eogondwana	Formación Tres Islas
	Formación Melo
	Formación Yaguarí
<hr/>	
Neogondwana	Formación Buena Vista
	Formación Cuchilla del Ombú
	Formación Tacuarembó
	Formación Rivera

Estas unidades sedimentarias se depositaron en cuencas continentales (incluyendo mares epicontinentales) durante el período en que el supercontinente Gondwana permaneció unido. Los esfuerzos para su aglutinación culminaron hacia 520 millones de años en nuestro país. La fracturación del Gondwana y apertura del océano Atlántico Sur comenzó hace 135 millones de años, quedando registrado como el enorme magmatismo basáltico de Paraná (Grupo Arapey en Uruguay).

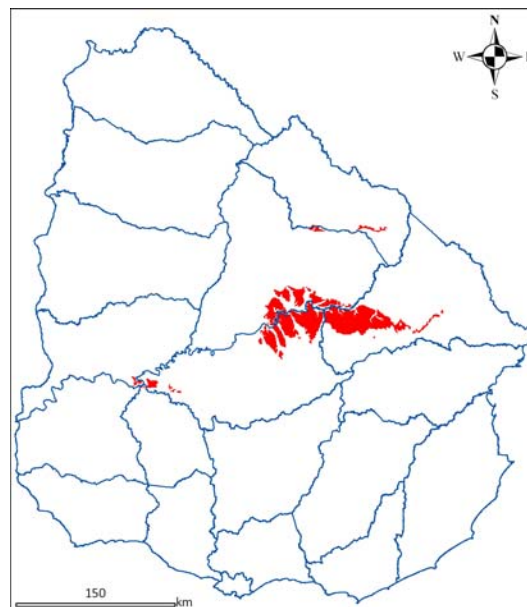


Figura 13: Área de ofloramiento de la formación San Gregorio en Uruguay.

La formación San Gregorio representa el conjunto de depósitos sedimentarios en los cuales tuvo incidencia directa un clima gacial. Tiene un espesor máximo conocido de 299 metros, los términos litológicos que integran esta unidad son depósitos asociados directa o indirectamente con lenguas de hielo en una topografía no muy quebrada: tillitas de base, tillitas morrénicas, lutitas várnicas, areniscas inmaduras y arcósicas, etc. Son todas rocas muy mal seleccionadas, reflejando la variabilidad energética del agente de transporte. Como ya se expuso, se apoya en discordancia erosiva sobre el basamento cristalino o rocas del Devónico.

La sección tipo de esta formación fue definida por Bossi (1966) en el Paso Romero sobre el río Negro. De base a cima se describen:

- 2.8m de tillitas de matriz arena arcósica de color morado oscuro con grava de 1cm de diámetro.

- 3.0m de tillitas de matriz arenosa con bloques suspendidos en su seno de hasta 10cm de diámetro, intercaladas con niveles centimétricos de arcosas.
- 3.0m de areniscas gruesas y finas de color rojo, marrón y amarillo, muy feldespáticas.
- 2.0m de tillita con grava fina suspendida en una matriz arcillo-arenosa de color violáceo.

Las tillitas suelen presentar abundante matriz arcillosa, pelítica o algo arenosa, en la cual se distribuyen sin orientación guijas y hasta bloques de subangulosos o subredondeados, de hasta 25 litros, mostrando poca variación en el tamaño de los clastos o en la relación clastos / matriz, de la base al techo. Presentan tonalidades castañas, rojizas hasta purpúreas, grises y gris azuladas. Aparecen en estratos tabulares macizos con límites poco definidos y espesores métricos; por amalgamamiento pueden alcanzar espesores de hasta 40m. Estas rocas pueden contener cuerpos lenticulares, decimétricos, de areniscas laminadas o con ondulitas.

Los niveles arenosos (arcósicos) pueden sucederse en la vertical o asociarse con pelitas (facies heterolíticas). Las areniscas ocurren en capas tabulares delgadas con espesores variables entre 1 y 7m, con ondulas o con estructuras entrecruzadas planares aisladas o en artesas agrupadas.

Las facies heterolíticas aparecen como sucesiones decimétricas hasta métricas de areniscas macizas, gradadas o laminadas, intercaladas con pelitas macizas deformadas por el peso o arrastre de las lenguas glaciares. Suelen incluir abundantes clastos caídos de hasta 2.5m³, de variada composición, que contribuyeron a la deformación de las capas. Las tonalidades más comunes son las lilas, rosadas, moradas, blanquecinas y grisáceas.

Las rocas definidas como varvitas se definen como una intercalación métrica de lutitas, limolitas y algunas raras areniscas finas de tonos oscuros. El mineral arcilloso dominante de las tillitas es la illita, a veces acompañada por montmorillonita.

El gran contenido de arcilla de todas las litologías que integran a la formación San Gregorio hacen que los suelos generados a su expensa, o bien los mantos de alteración generados sobre esta unidad, posean un elevado contenido de arcillas heredadas y arcillas neoformadas. El drenaje por lo tanto es pobre o directamente impedido cuando el subsuelo es francamente lutítico.

Las areniscas arcósicas son relativamente susceptibles a la meteorización. En esta litología los granos de feldespato se meteorizan rápidamente a glomérulos de arcilla, aumentando el volumen de la roca y promoviendo su desagregación física.

La tenacidad de esta formación es localmente intensa debido a fenómenos de cementación con carbonato de calcio, que en algunos lugares conforma estratos con calcita esparítica de 5 a 10cm de espesor. La heterogeneidad granulométrica de las tillitas, donde en una matriz areno-arcillosa “flotan” bloques de rocas del basamento cristalino de 1 a 2m³ da lugar a paisajes particulares, donde en una topografía suavemente ondulada resaltan afloramientos dispersos de rocas ígneas o metamórficas de naturaleza variada.

Formación Melo

Esta formación sedimentaria aflora en el Este del Dpto. de Tacuarembó, Sureste de Rivera y Norte de Cerro Largo, totalizando 389.340 hectáreas (2.2% del territorio nacional) tal como se expone en la figura 14.

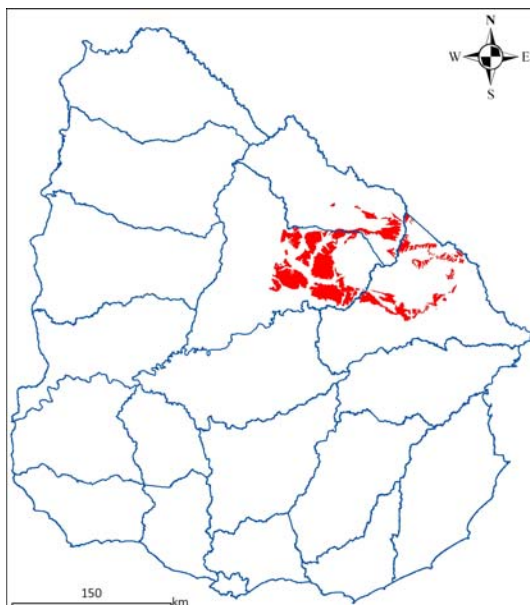


Figura 14: Afloramientos de la Fm. Melo en nuestro país.

La formación Melo se apoya concordantemente sobre la Fm. Tres Islas en el Este y sobre San Gregorio en el centro y Oeste y tiene contacto discordantemente con el basamento cristalino. El máximo espesor asignado a esta Formación es de 569m en una perforación en el Dpto. de Artigas

Las facies dominantes son arenosas y heterolíticas; a estas se asocian, en menor proporción, facies pelíticas, areniscosas y algunos calcáreos micríticos y subesparíticos. Las tonalidades oliváceas, castañas, verde amarillentas, verdosas, grises claras hasta negras (reductoras) caracterizan la unidad y se suceden sin orden aparente.

Las facies arenosas están representadas por psamitas finas y escasas areniscas medias o gruesas. Exhiben abundante laminación, ondulas escalonadas y menores proporciones de capas macizas, gradadas, con laminación convoluta o hummocky; en las psamitas medias o medias a gruesas se observan estructuras entrecruzadas (planares o artesas).

En conjunto, las facies pelíticas y heterolíticas están formadas por limolitas y arcilitas macizas (algunas son bentoníticas) gradadas, laminadas o con estructuras lentiformes, onduladas y flaser. Estas últimas se restringen a las facies heterolíticas y marcan la discreta participación de sedimentos finos. Suelen ser micáceas (muscovíticas en la base a biotíticas en el techo) e incluyen restos vegetales. Estas facies muestran moderada bioturbación de los tipos Endichnia y Epichnia, interpretadas como marcas de alimentación y locomoción.

Localmente los niveles pelíticos micáceos gris oscuro pueden alcanzar espesores importantes, 10 a 15m, y asociarse a lutitas pirobituminosas de color negro mate y finamente laminadas de 2 a 6m de potencia y a calcilutitas y calcáreos dolomíticos de hasta 9m

Las escasas psefitas se definen como conglomerados finos, con paraclastos y pequeños fragmentos de troncos silicificados. Se asocian a pequeños canales en las psamitas, vinculados a planicies de marea al Noreste de Melo o a facies litorales al Sur y Suroeste de Vichadero. Por su parte, los calcáreos forman

delgadas concreciones discoidales de 40 cm de ancho vinculadas a las facies pelíticas de la secuencia, o aparecen recristalizados en algunas facies arenosas.

Las variaciones cromáticas, litofaciales y en el tipo y frecuencia de estructuras primarias, indican cambios reiterados en la salinidad (de aguas dulces y salobres) y la pobre oxigenación de los fondos (capas verdes hasta casi negras con concreciones de pirita), probablemente vinculados con las corrientes mareales y de tormenta, y explican las frecuentes facies inter y submareales, así como los niveles de mudstones y capas glauconíticas. El clima debió ser además del tipo mono estacional para impedir la oxigenación de las aguas.

Formación Yaguarí

La formación Yaguarí aflora fundamentalmente en el Norte del Dpto. de Cerro Largo, en el Norte y Sur del Dpto. de Rivera, y en el Este de Tacuarembó. Además aflora a lo largo de una línea groseramente Norte-Sur en el centro del departamento de Tacuarembó (figura 15). Los afloramientos de esta unidad ocupan unas 631.000 hectáreas del Uruguay (3.6% del área continental).

Yaguarí es la última formación del Eogondwana uruguayo. Su edad paleontológica la ubica en el tope del Pérmico (Pérmico Superior) con aproximadamente 250 millones de años de edad. Pasa transicionalmente desde la unidad inferior (Formación Melo) definiéndose por la primera aparición de colores rojizos de oxidación. El contacto superior a la formación Buena Vista también es transicional por aumento granulométrico paulatino.

Bossi & Navarro (1991) plantearon su subdivisión en dos miembros: San Diego en la base y Villa Viñoles en el tope. El espesor medio definido para el conjunto es de unos 163 metros en el sondeo de Bañado de Medina.

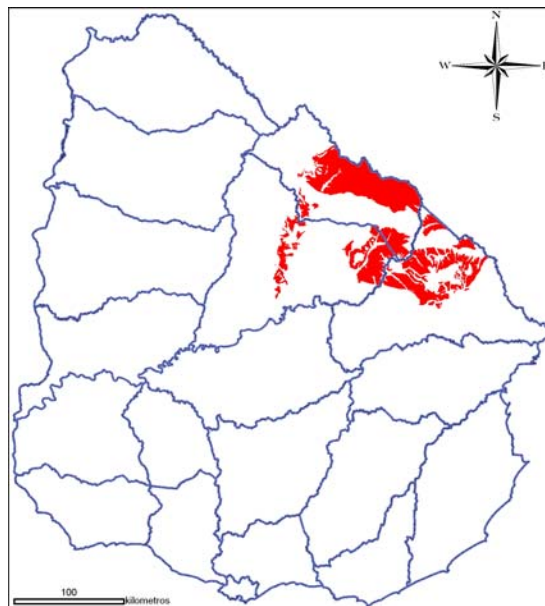


Figura 15: Zona de afloramientos de la Fm. Yaguarí.

El miembro San Diego está integrado por limolitas dominando sobre areniscas finas, con predominio de colores abigarrados, siempre en tonos de fase de oxidación. Los niveles arenosos son siempre más delgados que los limolíticos. Esporádicamente pueden aparecer niveles muy delgados de calizas. Las rocas son masivas o con microestratificación paralela.

El miembro Villa Viñoles está integrado por areniscas finas dominando sobre las limolitas. Cada estrato alcanza varios decímetros de potencia, la estratificación es paralela y raramente cruzada. El color más frecuente es el rojo y el cemento dominante es montmorillonítico.

El pasaje desde la formación Melo al miembro San Diego de la fm. Yaguarí está dado por la primera aparición de colores rojizos debidos a un cambio de las condiciones de óxido-reducción en el ambiente de sedimentación. Los parámetros texturales entre ambas unidades son idénticos. La disponibilidad de oxígeno aumenta progresivamente hasta que se hace omnipresente en el miembro Villa Viñoles.

Desde el punto de vista paleoambiental, la base del miembro San Diego corresponde a una plataforma marina con un océano estratificado y anóxico (hipolimnion) que se va haciendo cada vez más somero hacia el tope de la formación. El ambiente plataformal se transforma en uno con acción de las mareas y aportes fluviales distales de granulometrías más groseras y barras mareales.

En la zona central de la formación Yaguarí se preservaron bancos de cenizas que hoy se transformaron en bancos de bentonita, algunos de ellos explotados.

Las rocas de esta formación – independientemente del miembro que se considere – desarrollan mantos de alteración superficial relativamente extensos y constantes. No hay niveles cementados que resalten en la topografía, por lo que es muy difícil encontrar afloramientos naturales.

Desde el punto de vista del agua subterránea, suelen generar suelos mal drenados con problemas de anegamiento. En algunos suelos muy planos desarrollados sobre esta unidad se cultiva arroz.

Formación Cuchilla Ombú

Esta formación aflora a lo largo de una línea Norte – Sur en los departamentos de Rivera y Tacuarembó, a los pies de la denominada “cuesta basáltica”. Aflora a lo largo de 56.100 hectáreas, lo que equivale a un 0.3% del territorio nacional (figura 16).

Aunque esta unidad carece de contenido fosilífero, por sus relaciones estratigráficas se la ubica tentativamente en el Triásico Superior o el Jurásico Inferior (unos 203 millones de años). Esta formación se ubica en la base del Grupo Batoví Dorado, pasa discordantemente desde las unidades inferiores (Fm. Yaguarí, Fm. Buena Vista) y es cubierta discordantemente por los sedimentos subacuáticos de la formación Tacuarembó.

El Grupo Batoví Dorado se compone por las siguientes unidades, de la base a la cima:

- Fm. Cuchilla Ombú: areniscas eólicas desérticas.
- Fm. Tacuarembó: litologías subacuáticas continentales (fluviales) con abundante contenido fosilífero.
- Fm. Rivera: areniscas eólicas de ambiente desértico.

Esta formación tiene pocas decenas de metros de potencia, no pareciendo sobrepasar los 50 metros en los registros de perforaciones infrabasálticas.

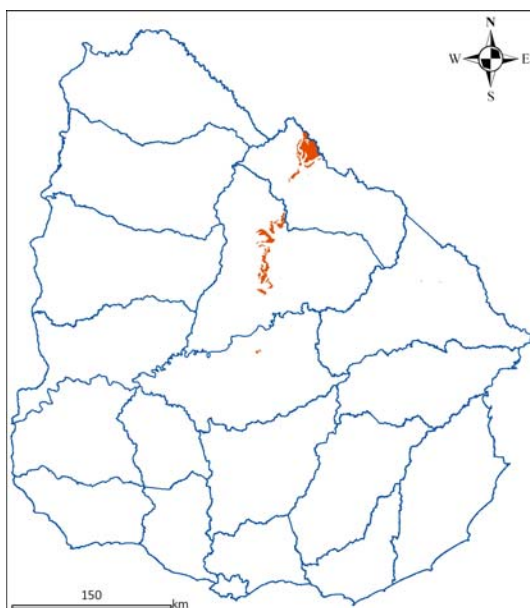


Figura 16: Afloramientos de la Fm. Cuchilla Ombú en el Uruguay.

Las areniscas que la componen son extremadamente homogéneas, finas, medias y esporádicamente niveles más gruesos con lechos alternados. La selección es excelente, los granos de arena son redondeados, predominantemente cuarzosos y con bajo contenido de arcilla como cemento. La estructura predominante es la estratificación cruzada de muy largo trayecto, con sets que pueden superar 8 metros de potencia con una laminación interna milimétrica. Los colores dominantes son los amarillentos (5YR 7/2) con pigmentación rojiza (10R 5/4). El ambiente de sedimentación es eólico desértico, en forma de un extenso campo de dunas tipo barján y seif. El tope de la formación se ve truncada por sedimentitas lutíticas de origen subacuático que estarían indicando un cambio radical en las condiciones ambientales.

Estas litologías son relativamente poco meteorizables. Los suelos generados a sus expensas son arenosos, con muy buen drenaje y de sencilla penetratividad. Considerando que el mineral dominante en esta formación es el cuarzo, el único contenido en arcilla del manto de alteración proviene de la meteorización de los escasos granos de feldespato o bien del exiguo contenido en arcilla de la Fm. Cuchilla Ombú. No se han reconocido hasta la fecha niveles fuertemente cementados (silicificados o carbonatados).

Formación Tacuarembó

La formación Tacuarembó aflora a lo largo de unas 303.000 hectáreas (1.7% del territorio nacional) desde el Dpto. de Rivera en el Norte hasta el Dpto. de Durazno, pasando por el de Tacuarembó (figura 17).

La formación Tacuarembó se apoya discordantemente sobre la Fm. Cuchilla Ombú, y es cubierta discordantemente por la Fm. Rivera. Contiene un abundante registro paleontológico que permite

ubicarla en el lapso Jurásico Medio a Inferior (175 a 200 millones de años). El espesor máximo de esta formación se estimó en unos 80 metros.

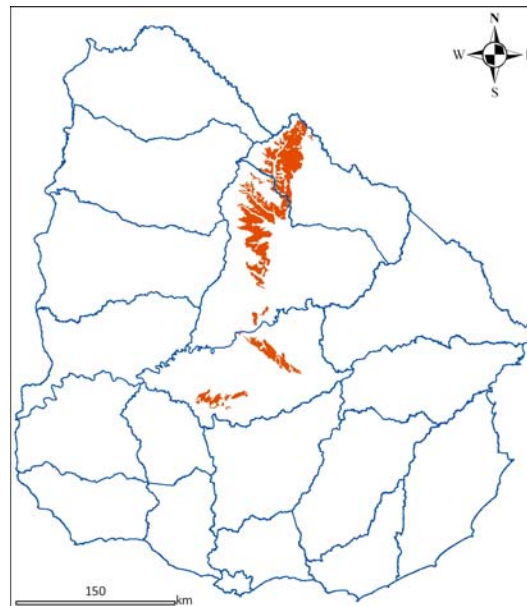


Figura 17: Área de afloramientos de la Fm. Tacuarembó.

Esta unidad está constituida por areniscas muy finas, finas y finas a medias, cuarzosas a feldespáticas, a veces micáceas, arcillosas, de estratificación cruzada a paralela y de colores verdosos, rosados o grisáceos. Estas areniscas se interestratifican con lutitas, fangolitas y limolitas micáceas, en estructuras lenticulares de colores rojizos, violáceos o verdosos y con areniscas medias, arcillosas, masivas, de colores rosado o blanco. El carácter unificante es la sedimentación en condiciones subacuáticas. Las litologías que componen esta formación son (ordenadas de mayor a menor frecuencia):

1. La litología más abundante consiste en areniscas finas, a veces muy finas y a veces finas a medias, bien seleccionadas, redondeadas a subangulosas, feldespáticas y micáceas, con cemento arcilloso y coloración gris blanquecina a verdosa, friables a medianamente tenaces. Presentan estratificación cruzada de trecho corto y ángulos superiores a 30°. El espesor máximo de estas litologías es de 3 metros.
2. Siguen en abundancia areniscas finas a medias, bien seleccionadas, cuarzosas y muscovíticas, de cemento arcilloso y color verdoso con tonalidades rojizas. Son mediana a marcadamente friables, con estratificación paralela y ondulante. El espesor unitario no sobrepasa 0.5m y tiene unos 20m de longitud.
3. Areniscas finas a medias, bien seleccionadas, cuarzosas y con cemento arcilloso. Son masivas de color rosado pálido a blancuzco, medianamente tenaces. Los espesores individuales alcanzan los 2 metros.
4. Limolitas y fangolitas muscovíticas, de colores verdosos, rojizos, pardo-rojizos o violáceos, más o menos friables. Aparecen siempre en estructuras lenticulares de hasta 1 metro de espesor y unos 20m de longitud.

5. Lutitas muscovíticas, violáceas, friables, con débil estratificación subparalela. Adopta siempre estructura lenticular, con espesores máximos de 0.3m y longitudes de hasta 10 metros.
6. La unidad litológica menos frecuente pero muy significativa desde el punto de vista genético, está constituida por conglomerados con clastos intraformacionales. Los clastos son arcillosos verdosos de hasta 5cm de diámetro y con espesores individuales de entre 3 y 15cm.

La fracción arcillosa dominante en toda la formación son esmectitas. El ambiente de sedimentación se interpreta como un sistema fluvial entrelazado distal.

Aunque el contenido de arena de la formación Tacuarembó es mayoritario, las arcillas esmectíticas son omnipresentes. El perfil de meteorización puede tener varios metros de espesor, con un regolito arcillo-arenoso a areno-arcilloso, expansivo. El drenaje es variable, directamente relacionado con el contenido en arcillas.

No hay niveles muy cementados que den lugar a estratos tenaces. Los lentes arcillosos, que podrían generar problemas de drenaje, son discontinuos.

Como en todas las unidades del Gondwana uruguayo, la tectónica juega un papel primordial en la estructuración de los afloramientos. Sin embargo, en estas litologías sedimentarias quedan enmascaradas por el manto de alteración asociado a las fallas o fracturas.

Formación Rivera

La formación Rivera aflora en la cresta de la cuesta basáltica en los departamentos de Rivera y Tacuarembó. Aflora además como ventanas entre coladas de basalto en los alrededores de la ciudad de Artigas. Los afloramientos de la Fm. Rivera ocupan 66.400 hectáreas (0.4% del territorio nacional) tal como puede observarse en la figura 18.

Esta unidad ocupa el tope del Grupo Batoví Dorado y es el último registro sedimentario del supercontinente Gondwana, antes de su ruptura asociada a la apertura del océano Atlántico Sur y los voluminosos derrames basálticos de la cuenca del Paraná (grupo Arapey).

No existe registro paleontológico en esta Formación, pero las areniscas eólicas se interestratifican con las primeras coladas del grupo Arapey, lo que permite datarlas inequívocamente en 135 millones de años (Jurásico Superior a Cretácico Inferior). El espesor medio la Fm. Rivera es de unos 50 a 70 metros.

La secuencia sedimentaria de la formación Rivera es muy monótona y similar a la de la Fm. Cuchilla Ombú, resultante de la fosilización de dunas desérticas. La litología dominante son areniscas cuarzosas de granulometría fina a media (0.14 a 0.35mm de diámetro), muy bien seleccionadas, con granos redondeados de naturaleza fundamentalmente cuarzosa. El feldespato forma entre el 5 y 10% del total. A veces pueden contener hasta un 5% de arcilla.

Los colores dominantes son los blancos, grises, amarillos y rosados. La estructura sedimentaria más conspicua es la estratificación cruzada de tipo eólica, tabular planar y cuneiforme planar, con buzamientos de hasta 30°. La mayor parte de las dunas corresponde a tipos transversal y barjan.

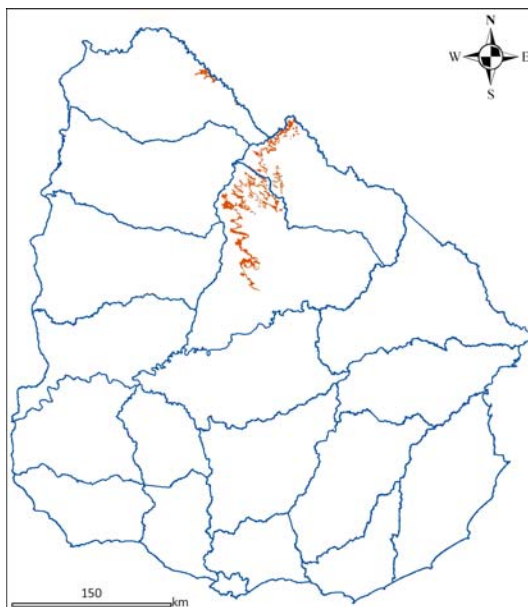


Figura 18: Afloramientos de la Fm. Rivera.

Una vez que comienzan los derrames basálticos del grupo Arapey, el ambiente desértico continúa activo y las areniscas eólicas se interestratifican con las coladas. La definición del grupo Arapey asigna a las sábanas eólicas intertrappeanas su pertenencia al citado Grupo, por lo que el tope de la formación Rivera es el primer derrame basáltico.

Los suelos generados sobre la Fm. Rivera son arenosos y con muy buen drenaje. Considerando que el mineral dominante en esta formación es el cuarzo, el único contenido en arcilla del manto de alteración proviene de la meteorización de los escasos granos de feldespato o bien del exiguo contenido en arcilla de la Fm. Rivera.

En las inmediatas proximidades a los derrames basálticos, las areniscas de la Fm. Rivera están metamorfizadas de contacto. Los granos de cuarzo se soldaron dando lugar a escarpas muy resistentes a la erosión (perfil tipo de cerros chatos).

Formación Cuaró

Esta unidad magmática hipabisal integra diques verticales de extensión kilométrica y filones capa horizontales que intruyen en las sedimentitas gondwánicas. Estos sills se desarrollan específicamente en los departamentos de Tacuarembó y Cerro Largo, ocupando 43.430 hectáreas (0.2% de la superficie continental uruguaya) tal como puede verse en la figura 19.

La Formación Cuaró como ha sido definido engloba todos los episodios hipabisales a "gran escala" relacionados a la apertura del océano Atlántico sur y la fragmentación del supercontinente Gondwana; las edades radimétricas por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sobre plagioclasas con valores de 132.1 ± 1.06 y 131.6 ± 1.3 Ma.

En el caso que nos ocupa se hará referencia exclusivamente al Miembro Paso de los Novillos, que integra a todos los filones capa (sills) aflorantes o no de este episodio magmático de inicios del Cretácico.

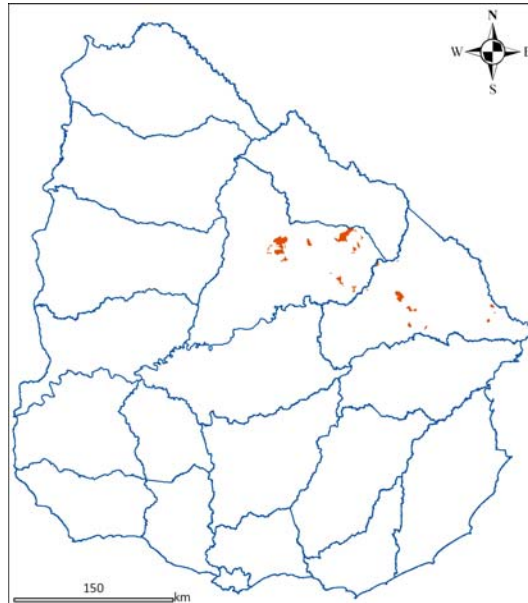


Figura 19: Afloramientos de la Fm. Cuaró (M. Paso de los Novillos)

Los filones capa de este Miembro cortan muy frecuentemente en forma subconcordantemente los sedimentos pelíticos de la Formación Melo, las areniscas más o menos arcillosas de la Formación Yaguarí, y más raramente las de San Gregorio o las rocas del Triásico - Jurásico. Existen evidencias de que se han producido importantes fenómenos magmato-freáticos de los que quedan registro en los sills de La Hilera, Paso de los Novillos y Cuaró.

En los sedimentos aledaños a varios de los sills del miembro Paso de los Novillos se han reconocido calcretizaciones secundarias en forma de halos paralelos a los actuales límites del filón capa. Estos cordones sirven como paleoindicadores de la extensión original de la diabasa. Este hecho ha permitido reconstruir la geometría original de diversos filones capa al cartografiar las crestas subparalelas a los límites actuales.

Se trata de rocas magmáticas básicas (diabasas) de grano medio en base a labrador (37 a 54%), augita (32-37%), vidrio desvitrificado (17%), magnetita 8%, ocasionalmente biotita (hasta 6%) y a veces trazas de apatito.

Formación Arapey

La formación Arapey agrupa a las rocas basálticas efusivas derramadas durante la apertura del Océano Atlántico Sur del cual se posee registro en el Uruguay. Estas coladas basálticas ocupan prácticamente la cuarta parte del territorio nacional (24.1%, correspondiente a 4.252.000 hectáreas) tal como puede verse en la figura 20.

Esta unidad geológica de vital importancia para el Uruguay agrupa todos los derrames basálticos eruptados a lo largo de enormes fracturas de extensión regional – formación Cuaró, Miembro Bañado de Medina – y se compone de una sucesión de coladas de centenas de kilómetros cuadrados de extensión individual y espesores que promedian los 40 metros.

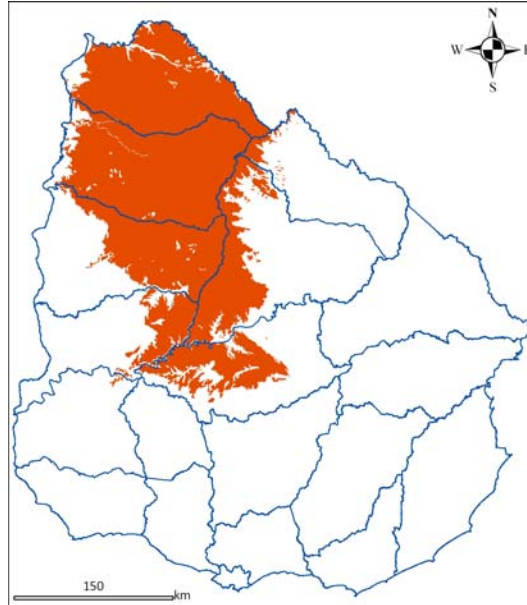


Figura 20: La formación Arapey en el Uruguay.

Son rocas ígneas extrusivas, de grano fino a medio, compuestas por proporciones equivalentes de plagioclasa (labrador s.l.) y un piroxeno (augita s.l.). Suelen desarrollar un perfil interno característico que de la base a la cima es:

- Un nivel lajoso delgado (1 a 2m como máximo) donde la roca adquiere una suerte de laminación subhorizontal por ordenamiento de los cristales debido al flujo de la colada;
- Un nivel masivo intermedio – el más potente o espeso de la colada - de textura isótropa y con diaclasas de enfriamiento poligonales;
- Un nivel vesicular en el tope de la colada, que puede incluir en la parte superior un nivel brechoide. Este nivel adquiere una textura esponjosa por desgasificación del magma debido al descenso brusco de la presión en el momento de la extrusión.

Las coladas se suceden superponiéndose en un número que alcanza los 13 derrames en la mayor parte del Uruguay, salvo en los alrededores de la ciudad de Salto, donde llegan a superponerse 27 derrames basálticos con un espesor total de más de 900 metros.

Formación Guichón

La formación Guichón aflora fundamentalmente en el Dpto. de Paysandú y un poco en el centro Norte del Dpto. de Río Negro. La superficie abarcada por esta unidad geológica corresponde al 1.7% de la superficie de nuestro país (casi 305.000 hectáreas) tal como se expone en la figura 21.

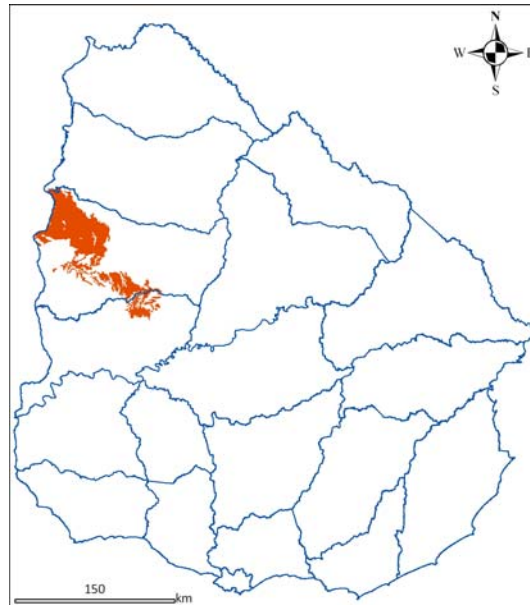


Figura 21: Afloramientos de la formación Guichón

La formación Guichón integra el Grupo Paysandú, correspondiente a las rocas sedimentarias depositadas fundamentalmente en la cuenca Norte durante el Cretácico Superior. El grupo Paysandú está constituido de la base a la cima por:

- Formación Guichón
- Formación Mercedes
- Formación Asencio

La formación Guichón se depositó en la porción más septentrional de la cuenca Norte en el Uruguay en el límite entre el Aptiano y el Albiano (unos 108 millones de años). Esto implicaría que la sedimentación de la cuenca Norte comenzaría en la porción más alta del Cretácico Inferior. Los espesores citados de esta unidad rondan los 90 a 115 metros en los departamentos de Paysandú y Río Negro.

En esta unidad dominan las facies arenosas, y subordinadamente aparecen facies conglomerádicas y pelíticas. Aproximadamente el 90% de las litologías correspondientes a esta unidad son areniscas finas a medias, de colores que varían entre el rosado grisáceo y el rojizo grisáceo. Tienen una matriz arcillosa de color rosado intenso, que constituye aproximadamente el 30-35% del total de la roca y le da la textura matriz-soportada. El grado de selección es moderado a bueno.

Entre 80-85 % de los clastos son cuarzosos y subredondeados. Los clastos de feldespatos (ortosa y plagioclasa) presentan un grado de alteración incipiente. En una proporción de 2-3 % aparecen clastos de minerales opacos y fragmentos líticos de basaltos. En estas litofacies predomina el aspecto masivo, aunque también pueden identificarse laminaciones plano paralelas de tipo cruzada (“ripple”), formas de lecho onduladas y estratificación gradada. Es bastante frecuente encontrar estructuras tubulares centimétricas, vacías o rellenas total o parcialmente, asociadas a cemento o nódulos carbonáticos, que evidencian fenómenos de paleopedogénesis.

Secundariamente a estas litologías arenosas aparecen conglomerados rosados, constituidos por cantos polimícticos (de cuarzo, areniscas y basaltos), desde angulosos a subredondeados, a veces con intraclastos pelíticos marrones que se concentran en la base de los estratos. La matriz de estos conglomerados es esencialmente de arena media a fina o incluso pelítica.

Como tercer componente de la fm. Guichón aparecen estratos de orden métrico de espesor, constituidos por pelitas marrones y rojizas, masivas y laminadas, generalmente con estructuras de carga y geometrías lenticulares. Su composición es fundamentalmente esmectítica (> 90%) y subordinadamente caolinítica (< 10%).

Las relaciones de contacto de la Formación Guichón son discordantes en la base con los basaltos de la Formación Arapey. En el tope, dependiendo de la porción de cuenca que se considere, las relaciones de contacto son discordantes con conglomerados y areniscas de la Formación Mercedes (Cretácico Superior); o con limolitas de la Formación Fray Bentos (Oligoceno); con areniscas de la Formación Salto (Plio-Pleistoceno) o con depósitos cuaternarios.

En algunas porciones de la formación Guichón se desarrollan niveles con estructuras paleo-edáficas. Esta meteorización antigua (probablemente del Eoceno o Paleoceno) ha generado un manto de alteración donde se destruyó parte del contenido de arcillas, o fueron sustituidas por otra asociación mineralógica que le confiere a estas porciones de la Formación un drenaje excelente. Los suelos neoformados sobre estas porciones son espesos, muy transicionales a la roca subyacente y desagregados.

Por otra parte, la meteorización de la formación Guichón da lugar a un material madre de suelos expansivos (vertisoles) que son característicos en los alrededores de la ciudad homónima. Cuando el contenido en arcillas es elevado (niveles lutíticos o arcillo-arenosos) o bien cuando algunos niveles más groseros están fuertemente silicificados, el drenaje queda impedido, pudiendo “colgarse” napas freáticas sobre estas capas de muy baja permeabilidad.

La tectónica es variable. Por lo general es de báscula y se vuelve más intensa y repetida en los ejes estructurales de la cuenca Norte.

Formación Mercedes

La formación Mercedes aflora en buena parte del territorio nacional, en los departamentos de Paysandú, Río Negro, Soriano, Flores, Durazno y parcialmente en Colonia, Florida y Canelones. Sus afloramientos cubren una superficie de 643.000 hectáreas (3.6% del territorio uruguayo) tal como se observa en la figura 22.

Como ya ha sido mencionado, la formación Mercedes integra el Grupo Paysandú de edad Cretácico Superior. El registro paleontológico no es definitorio en este sentido, por lo que no puede asignarse una edad más precisa para esta unidad sedimentaria. El espesor máximo de la Fm. Mercedes ronda los 80 a 100 metros, con registros puntuales en perforaciones.

Actualmente esta Formación se subdivide en dos miembros: uno inferior, constituido por granulometrías y estratos de tamaño progresivamente decreciente; y otro superior, donde las facies se uniformizan.

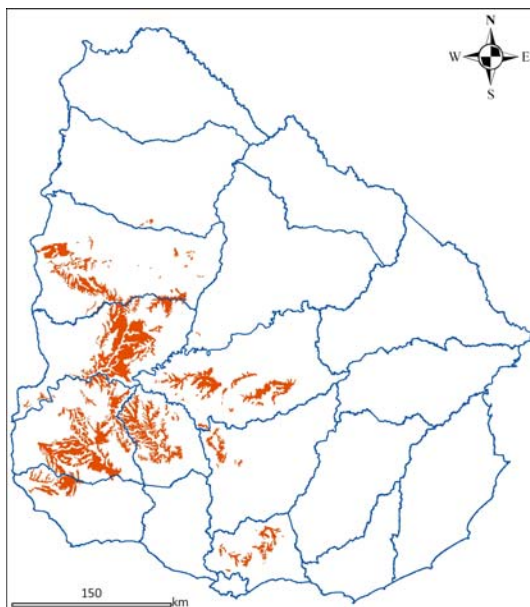


Figura 22: Afloramientos de la Fm. Mercedes.

El miembro inferior agrupa los sedimentos de arreglo general granodecreciente y estratificación de tamaño mediano a medio, cuya base la forman conglomerados que pueden evolucionar raramente hasta pelitas calcáreas o calcáreas de poca potencia. Los conglomerados matriz soportados desarrollan estratos macizos, lenticulares de hasta 1,5m de potencia en la base para ir disminuyendo su importancia a medida que se sube estratigráficamente. Los clastos tienen un tamaño medio de 10cm de eje mayor pudiendo llegar a tener 1dm³, son subangulosos a subredondeados en una matriz areno gravillosa. La composición de los cantos es polimíctica (de naturaleza variada).

Las areniscas gravillosas se asocian a las anteriores litologías con pasajes graduales o laterales y se definen como arcósicas, a veces feldespáticas de matriz arcillosa y colores claros entre rosados y blanquecinos. Estas areniscas pueden ocasionalmente presentar estructuras cruzadas. Los bancos suelen tener contactos netos y ondulados, a veces erosivos aunque en ocasiones se acuñan lateralmente determinando cuerpos de geometría lenticular.

En la parte alta del Miembro inferior y ocasionalmente en el superior se intercalan niveles de calizas que alcanzan hasta 15m de potencia, a veces arenosas o con raros niveles arenosos a conglomerádicos intercalados.

La fracción arcillosa se compone de illita. En litologías finas y asociadas a calizas, los argilominerales son predominantemente esmectíticos.

El miembro superior se define como integrado por una monótona secuencia arenosa fina a media de selección regular con granos de arena gruesa de hasta 1mm, subredondeados a redondeados, dispersos, de composición cuarcítica, estructura maciza, y de colores entre pardo-rosados y amarillentos.

Litológicamente se define un perfil integrado desde la base por areniscas finas a medias amarillentas, macizas, muy arcillosas con moteados y concreciones de óxidos de hierro, los que aumentan su participación hasta formar en una coraza de ferrificación en la parte superior de la secuencia, de un

color rojo hematítico. La mayoría de estas corazas han sufrido además procesos diagenéticos secundarios de silicificación.

En las litologías inferiores hay claros indicadores de la existencia de paleosuelos, como la presencia de pedotúbulos, glébulos, cutanes de arcilla y óxidos ferriargilanes de iluviación. A estos fenómenos se los agrupan en una unidad Aloestratigráfica (formación Asencio) que será descrita en el apartado siguiente.

En la base de este Miembro las arcillas son montmorilloníticas de buena cristalinidad a la que se asocia una caolinita desordenada (incipiente), que evoluciona a caolinita de alta cristalinidad con restos de una montmorillonita en degradación por debajo de las corazas superiores.

En la concepción estratigráfica manejada actualmente para la formación Mercedes, existen dos facies con características radicalmente diferentes desde el punto de vista de la susceptibilidad a la meteorización y el drenaje interno. Estas facies son: a) el Mercedes cementado; y b) el Mercedes areno-arcilloso.

- **Mercedes cementado:** los fenómenos de silicificación y carbonatación son muy frecuentes en esta unidad sedimentaria. Estos fenómenos se produjeron por precipitación de iones en solución en los estratos más permeables (areniscas groseras con bajo contenido de arcilla, niveles conglomerádicos, etc.) que se ubican fundamentalmente en el miembro inferior. La cementación produjo entonces estratos o niveles muy resistentes a la meteorización y extremadamente tenaces, que dan lugar a cornisas en las regiones donde este miembro aflora. Otra unidad muy cementada, aunque de génesis diferente, son los lentes de calizas y calizas arenosas. Estos niveles se ubican en la porción superior del miembro inferior o en la zona basal del miembro superior de la formación Mercedes.
- **Mercedes areno-arcilloso:** esta facies es muy común y extendida, abarcando la parte superior del miembro inferior y casi todo el miembro superior de la Formación. Se trata de rocas con baja porosidad y permeabilidad intrínseca debido al contenido de arcillas. Localmente pueden haber niveles menos arcillosos pero que generalmente han sufrido los eventos de cementación descritos arriba. Son litologías más meteorizables, que dan lugar a mantos de alteración de 2 a 5 metros de espesor, con cantidades considerables de arcillas y drenaje moderado.

Formación Asencio

La formación Asencio se distribuye en el Sur del Dpto. de Paysandú, centro y Este de Río Negro y fundamentalmente en el centro y Norte de Soriano. Afloramientos relictuales en Flores, Norte de Florida y algo en Durazno también son conocidos. Aflora a lo largo de 230.500 hectáreas (1.3% del territorio del Uruguay). Su distribución se muestra en la figura 23.

Tradicionalmente la formación Asencio se ubicaba en el tope del Grupo Paysandú. Los últimos datos disponibles asignan a Asencio una categoría de unidad Aloestratigráfica, al relacionarse con un evento climático generador de un manto de alteración en lugar de una unidad sedimentaria depositada en una cuenca. En la concepción actual la parte superior de la formación Mercedes se ha visto sometida a un intenso fenómeno paleoedáfico a fines del Cretácico o principios del Terciario bajo condiciones tropicales extremas (3500 a 4000mm de lluvias y entre 8 a 12º más en las temperaturas anuales). Al

resultado fósil de esta pedogénesis se le denomina en la geología formal uruguaya “formación Asencio”, tanto en su miembro pálido (Yapeyú) como en el de color rojo sangre (Palacio).

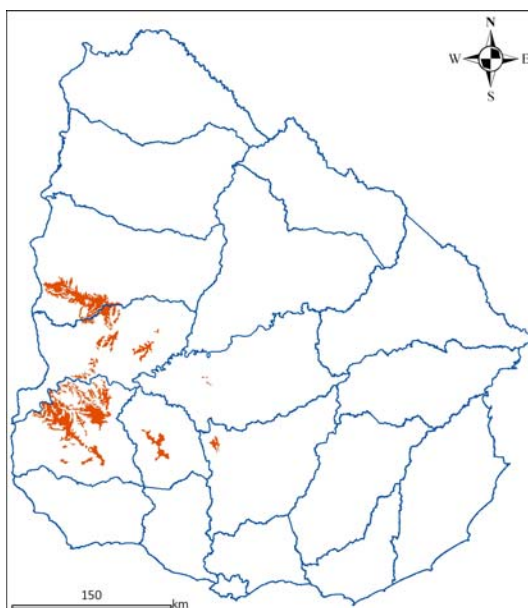


Figura 23: Afloramientos reconocidos de la Fm. Asencio.

Bajo el nombre de “Formación Asencio” se agrupan dos facies: las areniscas arcillosas pálidas a rosado claras, y las areniscas muy cementadas con óxidos de hierro (goethita s.l.). Cabe aclarar nuevamente que en la concepción actualmente manejada, Asencio se trataría del resultado de un proceso que dio lugar a la formación de un extenso manto de alteración en condiciones tropicales (manto laterítico) a fines del Cretácico o principios del Terciario.

Facies “clara” o Yapeyú: bajo este nombre se agrupa una serie de litologías de colores naranja muy pálido (10YR 8/2) en la base hasta naranjas rojizos moderados (10R 6/6) en la zona superior, con límites poco netos o transicionales. La litología es una arenisca cuarzo-feldespática madura, bien seleccionada, subredondeada, con abundante contenido en arcilla de composición montmorillonítica en la base a una mezcla de montmorillonita y caolinita en la parte superior (10 a 15% en volumen). El drenaje es bueno en el tope, empeorando hacia la base. Se trata del nivel saprolítico fino y saprolítico grueso de un manto laterítico.

Facies Palacio: aquí se agrupan las duricretas férricas totalmente cementadas con óxidos de hierro que dan lugares a escarpas de entre 0.5 y 2 metros de potencia, suavemente buzantes. Estos niveles son discontinuos y gradan hacia la base a una “zona moteada” que a su vez es la interfase con la facies clara arriba descrita. Esta facies tiene drenaje pobre y por lo general es aflorante dando lugar a rocosidad y escarpas muy notorias en el paisaje.

Las dos facies arriba descritas de la formación Asencio tienen comportamiento radicalmente diferente en cuanto a la susceptibilidad de meteorización y drenaje interno. La facies Palacio se comporta como un bloque de permeabilidad muy reducida a nula, de 1 a 5 metros de potencia, y extremadamente tenaz. Por el contrario, el miembro Yapeyú tiene un contenido medio de arcillas caolínicas en el tope, la textura original sedimentaria se ha perdido y la roca es friable y permeable.

Formación Fray Bentos

La formación Fray Bentos aflora a lo largo del Río Uruguay, desde Artigas a Colonia, pero especialmente en el Suroeste del Dpto. de Paysandú, mitad Oeste de Río Negro y Soriano, y Oeste de Colonia. Afloramientos relictuales en fosas tectónicas quedan dispersas en el Sur de Colonia y San José. Importantes áreas con este subsuelo aparecen en el Norte y Oeste de Canelones y algunos restos a lo largo de la ruta nacional N° 5 en el Norte de Florida. Los afloramientos atribuidos a esta unidad ocupan un área de casi 622.000 hectáreas, equivalentes al 3.5% del territorio continental del Uruguay (figura 24).

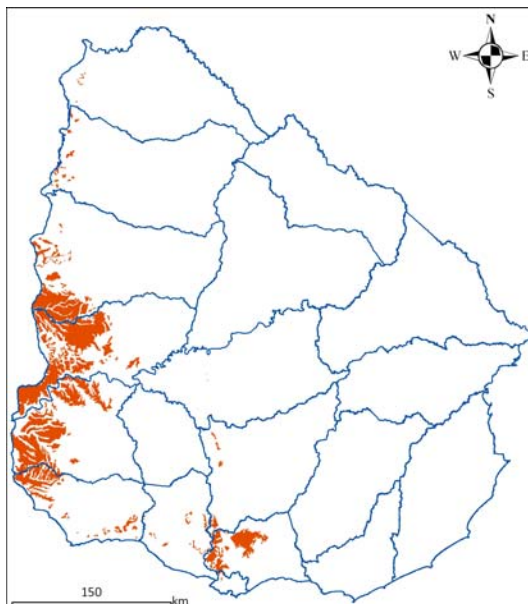


Figura 24: Formación Fray Bentos en el Uruguay.

La formación Fray Bentos es el primer registro del Cenozoico en el Uruguay. Según el contenido paleontológico, la edad de depositación de esta unidad es Oligoceno (unos 23 millones de años). El ambiente de sedimentación era desértico subglacial (clima muy seco y frío), y a lo largo de los 80 metros de espesor promedio de esta formación se suceden estructuras paleoedáficas, caliches, bioturbación, etc.

Las litofacies típicas de esta formación son areniscas finas, limolitas y loess bien seleccionados. El cemento es calcáreo, en un 20% en promedio. Las rocas de esta formación son de color anaranjado característico y constante (10R7/4 y 5YR8/4), tenaces y con muy bajas permeabilidades verticales. En algunos lugares la acumulación de cemento carbonático da lugar a bancos delgados de calizas impuras, asimismo es común encontrar en la base de la Formación cuando se apoya sobre el basamento cristalino conglomerados matriz soportados con cantos irregulares de hasta 15cm de diámetro, que tradicionalmente se le llama “Fray Bentos Tilloide” y estrictamente se trata de diamictitas matriz-soportadas.

Las litologías diamictíticas se ubican exclusivamente en la base de la Formación con espesores que raramente superan los 3m y marcan claramente la discordancia con las unidades infrayacentes. Son materiales macizos de matriz arenosa media a fina y con clastos de naturaleza variada, desde angulosos

a subredondeados que raramente superan los 15cm de eje mayor. Estos clastos disminuyen en tamaño y frecuencia hacia arriba.

Las areniscas constituyen las litologías dominantes y corresponden a facies finos y muy finos de buena selección, de composición cuarzo feldespática (potásicos y plagioclasa), frecuentemente arcósica y con una importante proporción de vidrio volcánico; definidas predominantemente como macizas o con esbozos de estratificación cruzada, en estratos tabulares poco definidos y con estructuras internas desdibujadas o borradas por los procesos diagenéticos sufridos posteriormente a su deposición.

Los loess presentan también una amplia distribución geográfica y tienen características muy similares a las areniscas con las que se intercalan, en estratos submétricos, de acuerdo a las descripciones primarias. Los niveles pelíticos, a veces verdaderas lutitas, afloran escasamente y asociadas a los niveles rudáceos.

Todas estas litologías presentan un contenido en CaCO₃ variable, pudiendo llegar a constituir margas, con un tenor promedio para la Formación del orden del 20%. El calcáreo se presenta en varias formas y tamaños: constituyendo concreciones, calcretes subhorizontales o disperso en el sedimento que lo contiene. La mineralogía de la fracción arcillosa se compone por illitas trioctaédricas, beidellitas y un interestratificado regular illita - clorita, a los que se agrega más raramente un interestratificado illita - montmorillonita. En la fracción arcillosa se encuentra además goethita -óxido de hierro hidratado- que sería el responsable del color de la unidad.

La formación Fray Bentos posee una textura y estructura tal que la vuelven un material ideal para sellos sanitarios, ya sea de acuíferos infrayacentes, como para obras de ingeniería (silos de granos excavados, rellenos sanitarios, etc.). El manto de alteración suele no superar los 2 metros de espesor, a veces mucho menos. Los suelos desarrollados sobre esta unidad (por lo general brunosoles) tienen una elevada fertilidad natural y un contacto lítico neto, tal como se expone en la fotografía que sigue. El drenaje en la unidad es muy pobre y la compactación y cementación pervasiva con carbonato de calcio le confieren una tenacidad muy elevada.

La tectónica que afecta a Fray Bentos (y todas las unidades geológicas anteriores) tiene una participación predominante en la estructuración del subsuelo uruguayo. Las direcciones principales de fracturación son N30-35W y N30-35E, formando un sistema rómbico de eje mayor NS que bascula hundiéndose su vértice Sur con eje EW. Esto hace que en zonas muy próximas entre sí los espesores de la Fm. Fray Bentos sean absolutamente dispares (por ejemplo: a 15 metros de distancia, la diferencia de espesores puede ser de hasta 70 metros).

Formación Salto

Esta formación aflora a lo largo del río Uruguay, desde el Norte de Artigas al Sur de Salto de manera prácticamente ininterrumpida. Luego aparece desconectada de esta área en Paysandú y Río Negro. Los afloramientos ocupan 160.000 hectáreas (0.9% del territorio uruguayo) tal como se ve en la figura 25.

Estos depósitos de origen fluvial tienen una potencia que no superaría los 25 metros y se componen de ciclos granodecrecientes desde diamictitas (conglomerados mal seleccionados) a lutitas verdosas. Su asignación estratigráfica al Plioceno (5.3 – 7.0 millones de años) se realiza sobre la base de sus propiedades texturales y al contenido fosilífero.

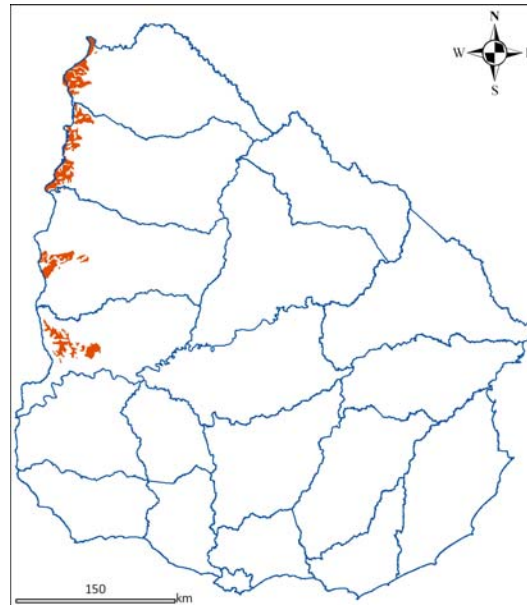


Figura 25: Afloramientos de la Fm. Salto.

La formación Salto comienza desde la base por un nivel de fangolitas gris verdosas, seguidas por conglomerados y/o areniscas, silicificadas o no, que se alternan hacia la cima sin un aparente orden variando los espesores y las sucesiones de areniscas y niveles conglomerádicos.

Las estructuras son lenticulares, con estratificaciones que varían desde extendidas, paralelas y subhorizontales hasta cortas, cruzadas, menores a un metro de longitud y con buzamientos de los estratos de hasta 20 grados.

Las fangolitas de la base tienen entre 1.2 y 2.0 metros de potencia y está casi siempre presente en el perfil de la formación. Este nivel tiene prácticamente la misma proporción de arena (granulometría menor a 1mm), limo y arcilla. El tamaño medio de los granos es de 0.2mm, y la arcilla dominante es la illita.

Las areniscas son el litotipo más abundante. Tienen granulometría variable desde medio a fino. La selección es buena a normal, y los granos están redondeados y son de composición fundamentalmente cuarzosa. El cemento arcilloso es escaso. La estructura predominante es la estratificación cruzada, y el color es rojizo debido a que los granos están recubiertos por una película de óxidos de hierro. Suelen contener costras limoníticas y están frecuentemente silicificadas.

Los conglomerados no llegan a potencias superiores a 1 metro y oscilan entre areniscas conglomerádicas y verdaderos conglomerados. El tamaño general de los clastos es de entre 3 y 4cm pudiendo llegar a los 10cm de eje mayor, y pueden variar desde subredondeados a subangulosos. La naturaleza de los clastos es silíceo (ópalo, calcedonia, cuarzo) y extraordinariamente pueden aparecer intraclastos pelíticos y basálticos alterados. La estructura dominante de estos conglomerados son los lentes perfectamente definidos. Se encuentran generalmente silicificados y ocupan la porción más alta de la formación.

En esta formación pueden definirse dos comportamientos diferentes en cuanto a la meteorización y drenaje interno. Ambos se relacionan directamente con el grado de silicificación que posean las

litologías que componen a esta unidad. En el caso de los niveles areniscos o conglomerádicos muy silicificados, el drenaje interno es muy bajo a nulo, son prácticamente inalterables y los suelos a sus expensas son litosoles. Cuando la silicificación es pobre a inexistente, el manto de alteración puede alcanzar los 2 a 4 metros de profundidad con muy buen drenaje.

Formación Dolores

Esta unidad geológica abarca 349.000 hectáreas (2.0% del Uruguay) fundamentalmente en el Este de Treinta y Tres, Este de Rocha y Sureste de Cerro Largo. Aflora discretamente en los departamentos de Paysandú, Río Negro y Soriano (figura 26).

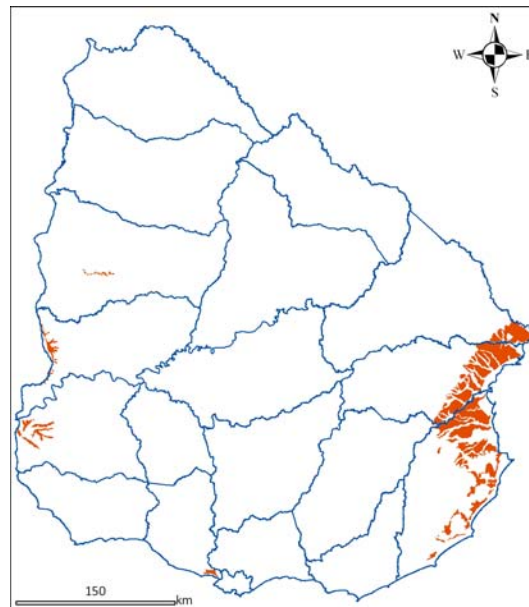


Figura 26: Formación Dolores.

Esta unidad sedimentaria pertenece al Pleistoceno Medio a Superior (1.7 – 2.5 millones de años) y se encuadra dentro de los depósitos Cenozoicos de las zonas topográficamente más deprimidas del Uruguay. Se definió inicialmente en las planicies del Río San Salvador, próximo a la ciudad de Dolores, pero su mayor extensión se asocia a las llanuras de la Laguna Merín. El espesor máximo de esta unidad no supera los 10 metros.

La Fm. Dolores está compuesta por rocas limosas que pasan localmente a arenas finas arcillosas, asociadas a granulometrías más groseras (arena media, gruesa y grava) que se encuentran asociadas a la masa (fangolita o diamictita).

Las variaciones texturales se relacionan directamente con el substrato. De esta manera, cuando se apoya sobre la formación Fray Bentos, las granulometrías más gruesas pertenecen a la fracción arena fina a muy fina, mientras que cuando se apoya sobre la Fm. Asencio aparecen arenas medias a gruesas y eventualmente grava fina.

La selección es regular a buena y el color del sedimento es homogéneo en tonos pardos. A veces pueden aparecer zonas de color gris verdoso. Las rocas son masivas (sin estructura interna) y absolutamente

friables. Son frecuentes las concreciones calcáreas diseminadas en la masa, pudiendo alcanzar 10cm de diámetro.

Esta formación es prácticamente idéntica a la Fm. Libertad, extensamente desarrollada sobre el basamento cristalino del Terreno Piedra Alta. La diferencia sustancial y que además es un rasgo definitorio de la Fm. Dolores es la geomorfología absolutamente plana – con pendientes menores al uno por mil – asociados a humedales y suelos hidromórficos.

Las litologías de esta unidad tienen un contenido elevado de materiales finos, lo que junto a la topografía plana característica da lugar a severos problemas de drenaje. Por lo general son áreas inundables con vegetación de bañado asociada.

Aluviones

Los aluviones cubren un 4.9% del territorio nacional (casi 870.000 hectáreas), asociados directamente a los cursos superficiales (figura 27).

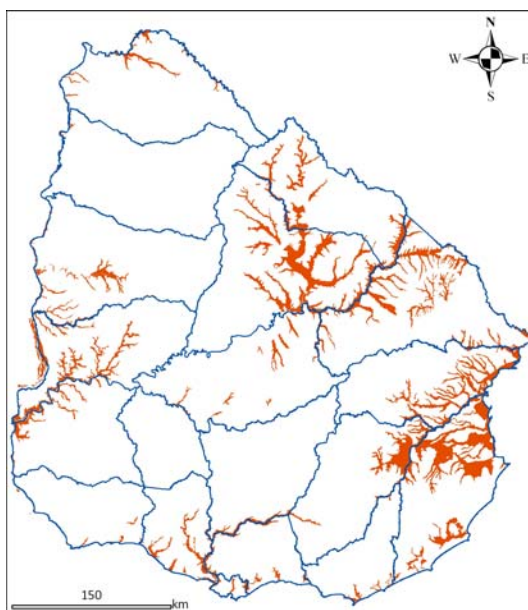


Figura 27: Aluviones.

Los aluviones son los depósitos más actuales que existen en nuestro país. Son zonas de acumulación vertical de sedimentos de desborde de cursos superficiales. La enorme mayoría de estos cuerpos se depositó en los últimos 40.000 años.

Bajo el término “aluviones” se agrupan una serie de sedimentos (no litificados) de naturaleza variada, fundamentalmente fangosa (arcilla + limo + arena fina) y abundante materia orgánica. A veces pueden asociarse niveles de turba o barras arenosas. El drenaje interno es pésimo. Son sedimentos no litificados, todavía saturados en agua.

Cartografía detallada a escala 1/50.000 por cuenca

Forestal Oriental S.A. ha estado llevando a cabo un plan de cartografía geológica de detalle de su patrimonio y alrededores inmediatos. Esta tarea se ha realizado sobre la base de fotografías a escala 1/20.000, trabajo de campo y digitalización en un entorno SIG con salidas gráficas a escala 1/50.000.

Hasta el momento se ha completado la cartografía geológica de detalle de los distritos 1, 2, 3, 4 y 5, restando culminar la digitalización del distrito 6. A manera de ejemplo se presentará en forma gráfica (figuras 28 y 29) y tabulada (tabla 12) las áreas cartografiadas por distrito y por cuenca. Cabe aclarar que las fotografías aéreas a escala 1/20.000 del año 1967 están en poder de quien suscribe.

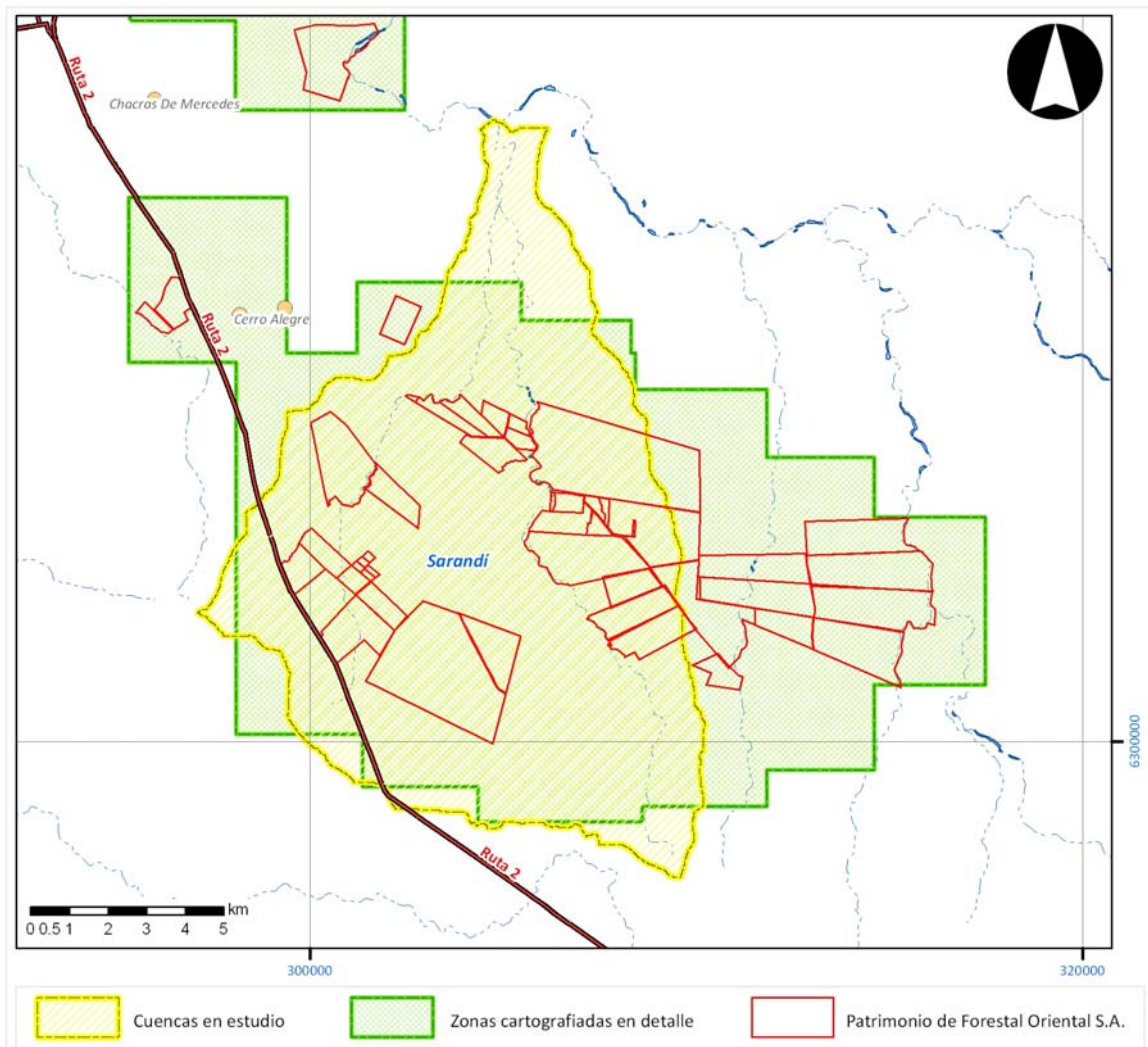


Figura 28: Cobertura geológica de detalle (1/50.000) en la cuenca Sarandí.

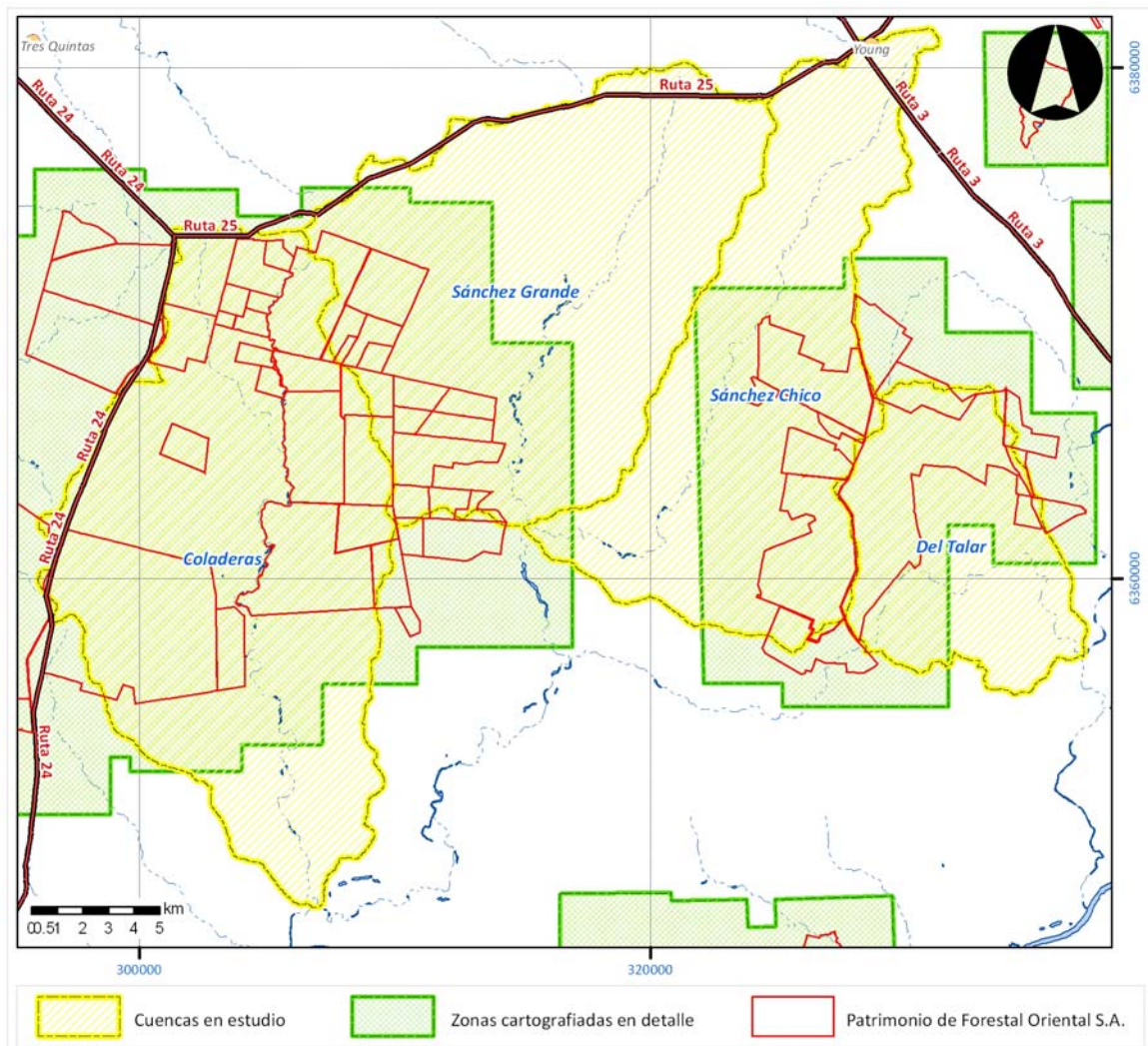


Figura 29: Geología de detalle en la región de las cuencas de Coladeras, Sánchez Grande, Sánchez Chico y Del Talar.

Cuenca	Código	Cobertura geológica de detalle		
		Area total <i>hectáreas</i>	<i>hectáreas</i>	% del total
Guaviyú	30015	85438	0	0.0
Quebracho Gde.	30017	37040	0	0.0
De Soto	30018	48560	0	0.0
Bacacué	30021	31020	17834	57.5
Capilla Vieja	30022	18217	5077	27.9
Ñacurutú	30023	18213	7550	41.5
Negro Superior	30026	54407	16188	29.8
Guayabos	30027	29093	17278	59.4
Grande	30035	53855	29122	54.1
Sarandí Grande	30036	11267	9395	83.4
Don Esteban Gde.	30037	54047	9742	18.0

Coladeras	30044	23674	20259	85.6
Sánchez Grande	30045	21377	9178	42.9
Sánchez Chico	30046	16838	8430	50.1
Del Talar	30047	8103	5670	70.0
Sarandí	30044	13994	12228	87.4
Gajo S del T.Cruces	30100	14574	0	0.0
Blanquillo	30102	3510	0	0.0
Bdo. De Rocha	30101	8247	0	0.0
Molles	30103	5610	0	0.0
Batoví	30104	18299	0	0.0
Corral de Piedra	30106	8850	0	0.0
Del Sauce	30105	13481	0	0.0
Vera	30107	17961	0	0.0
De Clara	30110	46165	0	0.0
Viraró	30108	5412	0	0.0
Furtado	30109	8511	0	0.0

Tabla 12: Areas con cobertura geológica 1/50.000 de cada cuenca en análisis.

Hidrogeología de las cuencas en análisis

Conceptos fundamentales

Existen dos conceptos fundamentales para comprender el desarrollo de este informe, y de cualquier literatura científica que trate el tema del agua subterránea; ellos son el de formación geológica y el de acuífero. Ambos términos suelen utilizarse –a veces – indistintamente y llevan a confusiones y enredos. Una formación geológica es una asociación de rocas o sedimentos con piso, techo y perfil conocido, agrupadas sobre la base de criterios genéticos. Las formaciones geológicas en que se acumula el agua y que son capaces de cederla para su aprovechamiento rentable reciben el nombre de acuíferos.

Los acuíferos sirven como conductos de transmisión y como depósitos de almacenamiento. Como conductos de transmisión transportan el agua subterránea de las áreas de recarga hacia zonas de descarga según el gradiente hidráulico regional (lagos, arroyos, lagunas, bañados, el mar, etc.). Como depósitos de almacenamiento los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas durante los períodos en que la extracción excede a la recarga.

Como es evidente no todas las unidades geológicas poseen las propiedades que caracterizan a un acuífero, es decir que sus intersticios o espacios huecos sean capaces de almacenar y transmitir agua como para que su explotación sea económicamente rentable. Sin embargo, el hecho de que en la definición del concepto de acuífero aparezca implícita la rentabilidad sugiere que su clasificación debe considerar las necesidades del usuario final. Dicho de otra manera, una unidad geológica puede ser clasificada como acuífero para un productor rural de pequeño porte y no serlo para una industria de alto consumo de agua subterránea, ya que sus necesidades en volúmenes diarios son radicalmente diferentes.

Los espacios huecos o intersticios que presentan las rocas que componen a los acuíferos pueden ser poros o vacíos intergranulares, como en el caso de las rocas formadas por depósitos sedimentarios

granulares (grava y arena), consolidados o no; o fracturas, fisuras y canales de disolución en el caso de las rocas ígneas o metamórficas, llamadas en la jerga del agua subterránea como “rocas duras”.

La clasificación de los distintos tipos de acuíferos atiende como primer parámetro al origen de los huecos o intersticios (figura 30), separándolos en: a) acuíferos porosos, cuando los huecos son los poros que existen entre las partículas detríticas de las rocas sedimentarias relativamente poco consolidadas o depósitos sedimentarios sueltos: grava, arenas, etc.; y b) acuíferos fisurados, cuando los huecos se deben a esfuerzos que actuaron sobre rocas de porosidad inicial nula y molieron zonas definidas en el macizo que adquieren una “porosidad secundaria por fracturación”. Este tipo de acuíferos se instala en rocas ígneas y metamórficas y en algunas rocas sedimentarias muy consolidadas y cementadas.

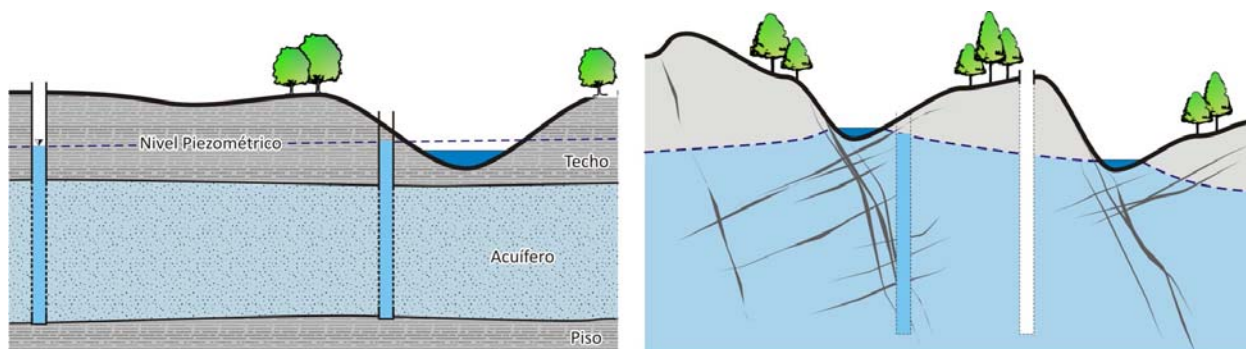


Figura 30: Esquema de un acuífero poroso (izquierda) y fisurado (derecha).

Los acuíferos porosos suelen clasificarse en segunda instancia según el grado de dependencia con el ciclo hidrológico superficial en acuíferos libres (figura 31) cuando la unidad porosa está en directo contacto con la atmósfera y en acuíferos confinados o semiconfinados (figura 30 a la izquierda) cuando el nivel acuífero posee un techo impermeable o semipermeable – respectivamente – que lo aísla del ciclo superficial.

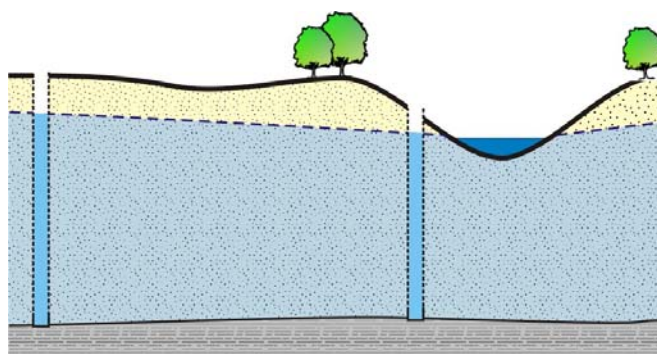


Figura 31: Acuífero poroso sedimentario libre.

El basamento cristalino, tal como su nombre lo sugiere, es la unidad geológica que subyace a todas las existentes (de ahí “basamento”) y está compuesto por rocas “cristalinas”: formadas por una acumulación o asociación de cristales, cuya naturaleza y disposición obedecerán a ciertas condiciones fisicoquímicas en el momento de su génesis. El hecho más notable desde el punto de vista del agua subterránea de las rocas que pueden formar el basamento cristalino es que carecen de porosidad. Dicho de otra manera, las rocas “cristalinas” son impermeables, no almacenan ni conducen ningún tipo de fluido por sí mismas.

La única manera de que el agua infiltre y se almacene en el seno de las rocas del basamento cristalino o “rocas duras” es que éstas hayan adquirido algún tipo de porosidad secundaria por fenómenos que ocurrieran posteriormente a su génesis. Existen dos fenómenos por los que una roca particular – sin porosidad primaria – adquiere porosidad secundaria: disolución y fracturación. Las rocas “duras” tienen la propiedad de comportarse en los primeros centenares de metros de la corteza terrestre como un rígido, fracturándose ante esfuerzos en los primeros 50 a 70 metros desde la superficie.

Toda el agua subterránea proviene de la infiltración de la lluvia, y para llegar desde el cielo al subsuelo deberá indefectiblemente atravesar el suelo. Las propiedades químicas del suelo y las actividades que se desarrollen sobre él influirán la composición química y la calidad del agua que se infiltrará.

Los lugares de la superficie terrestre en que el agua está durante mayor tiempo en contacto con las fracturas que afecten el subsuelo son los cursos de agua superficial: ríos, cañadas y arroyos. Por lo general en áreas de basamento cristalino los cursos superficiales están en mayor o menor grado “controlados” por la red de fracturas del subsuelo. Al estar las rocas duras fracturadas o rotas, a las cañadas, ríos y arroyos se les vuelve más sencillo (desde el punto de vista energético) entallarse sobre las fracturas. Esto tiene efectos beneficiosos sobre el agua subterránea, ya que en una red de fracturas que condiciona a cursos superficiales, la recarga está asegurada.

Una vez que se logra identificar una red de fracturas que afecten rocas poco meteorizables y con recarga asegurada es posible introducir el término “acuífero fisurado”. Los acuíferos son estructuras geológicas capaces de almacenar, conducir y ceder agua subterránea en cantidad y calidad tal que vuelva económicamente rentable su explotación.

El concepto de “acuífero poroso” parte de algunas premisas similares a la de los acuíferos de fisura con la salvedad de los parámetros geométricos típicos de las unidades sedimentarias. Las rocas sedimentarias reposan en niveles o estratos tabulares de disposición horizontal o subhorizontal con espesores variables y composición litológica no uniforme en función de los ambientes de depositación. El agua de lluvia infiltra alcanza los niveles porosos del acuífero mediante la percolación lenta a través de las rocas que lo cubren – en caso de los acuíferos confinados o semiconfinados – o en las zonas de afloramiento. En el caso particular de los acuíferos libres la recarga se efectúa directamente por infiltración del agua de lluvia o escorrentía.

Otros términos que se aplican en la clasificación de acuíferos se relacionan con la capacidad del medio de ceder el agua que almacena. En este sentido se utiliza el término “acuífero” para aquellas unidades geológicas que la ceden sin dificultad, “acuitardo” para las unidades que almacenan agua subterránea pero la ceden con dificultad – son unidades de permeabilidad media a reducida – y “acuífugo” para las rocas que ni almacenan ni permiten conducir el agua subterránea.

Clasificación hidrogeológica de las cuencas analizadas

La clasificación que se presentará a continuación se realiza sobre la base de los antecedentes geológicos a escala 1/500.000 ya expuestos en páginas anteriores de este informe. Las unidades geológicas pueden clasificarse en acuíferos porosos libres, acuíferos porosos confinados, acuitardos y acuíferos fisurados. A su vez, se pueden subclasificar en función de su extensión respecto al tamaño de las cuencas en **intracuencales** o **extracuencales**. Esto se presenta de forma gráfica en las figuras 32, 33, 34, 35, 36 y 37.

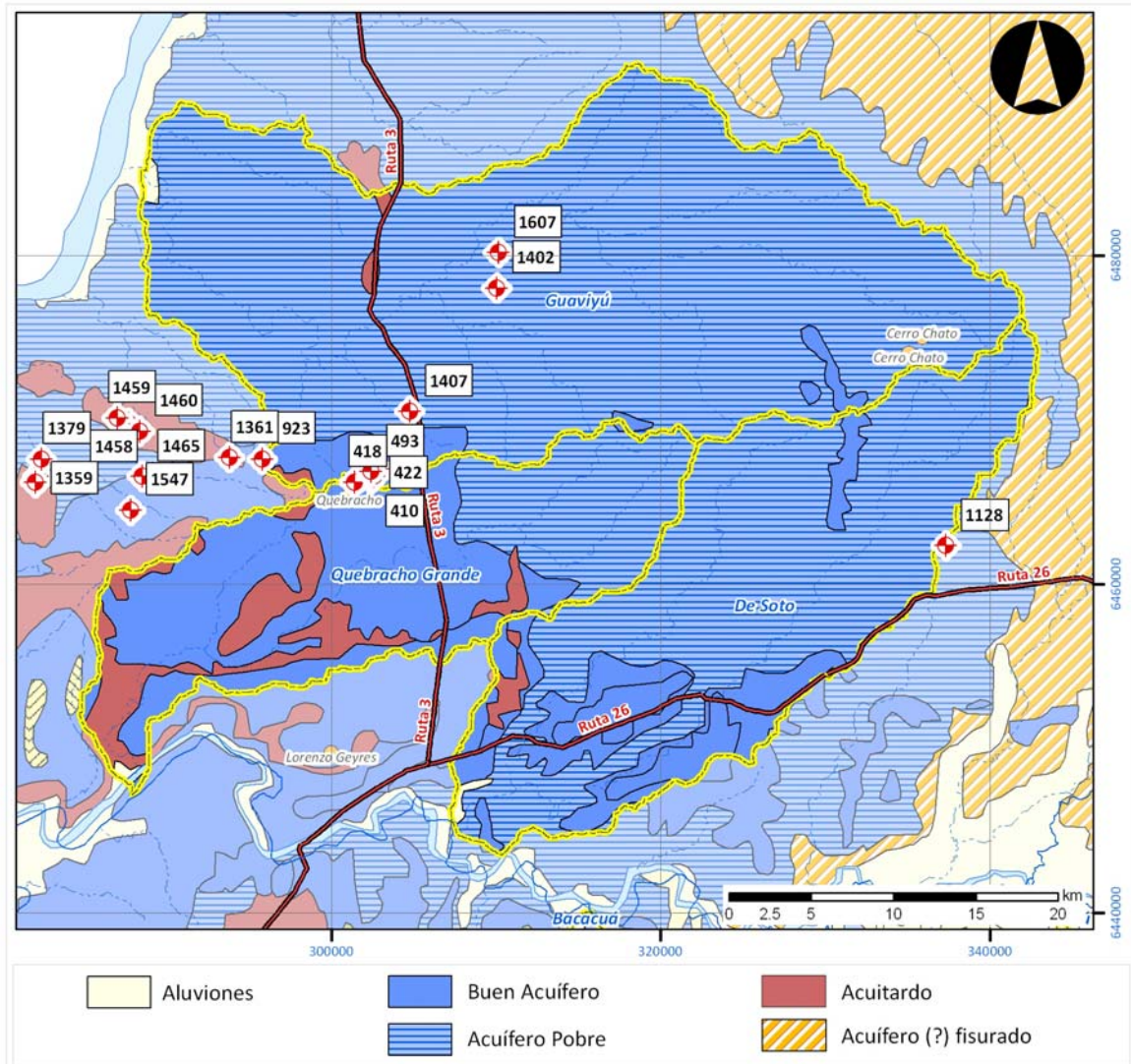


Figura 32: Clasificación hidrogeológica del subsuelo de las cuencas Guaviyú, Quebracho Grande y De Soto.

En las figuras que se exponen se incluyen los datos disponibles de perforaciones vecinas a las cuencas. Estas obras de captación cuentan con parámetros geológicos, constructivos e hidráulicos relevados que pueden ser utilizados para definir las principales líneas de flujo de los acuíferos o sistemas acuíferos de una región.

En el caso expuesto en la figura 32 los acuíferos se han clasificado en buenos y pobres, en función de los caudales probables a ser obtenidos. Esta clasificación se ha realizado sobre la base de las propiedades texturales (granulometría, cementación, selección) para definir los parámetros hidráulicos básicos de cada unidad (permeabilidad y porosidad).

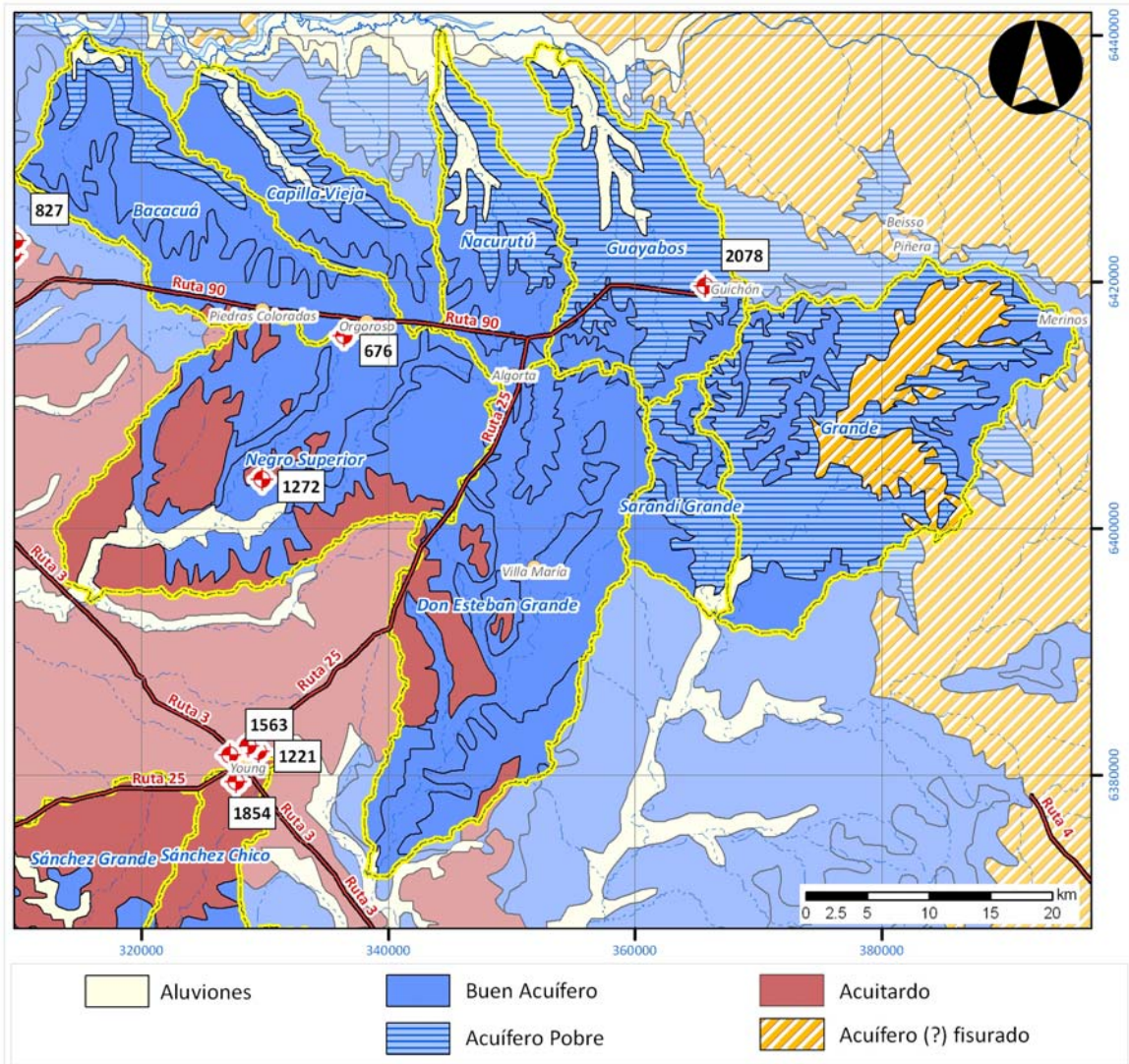


Figura 33: Unidades hidrogeológicas de las cuencas Bacacué, Capilla Vieja, Ñacurutú, Guayabos, Negro Superior, Don Esteban Grande, Sarandí Grande y Grande.

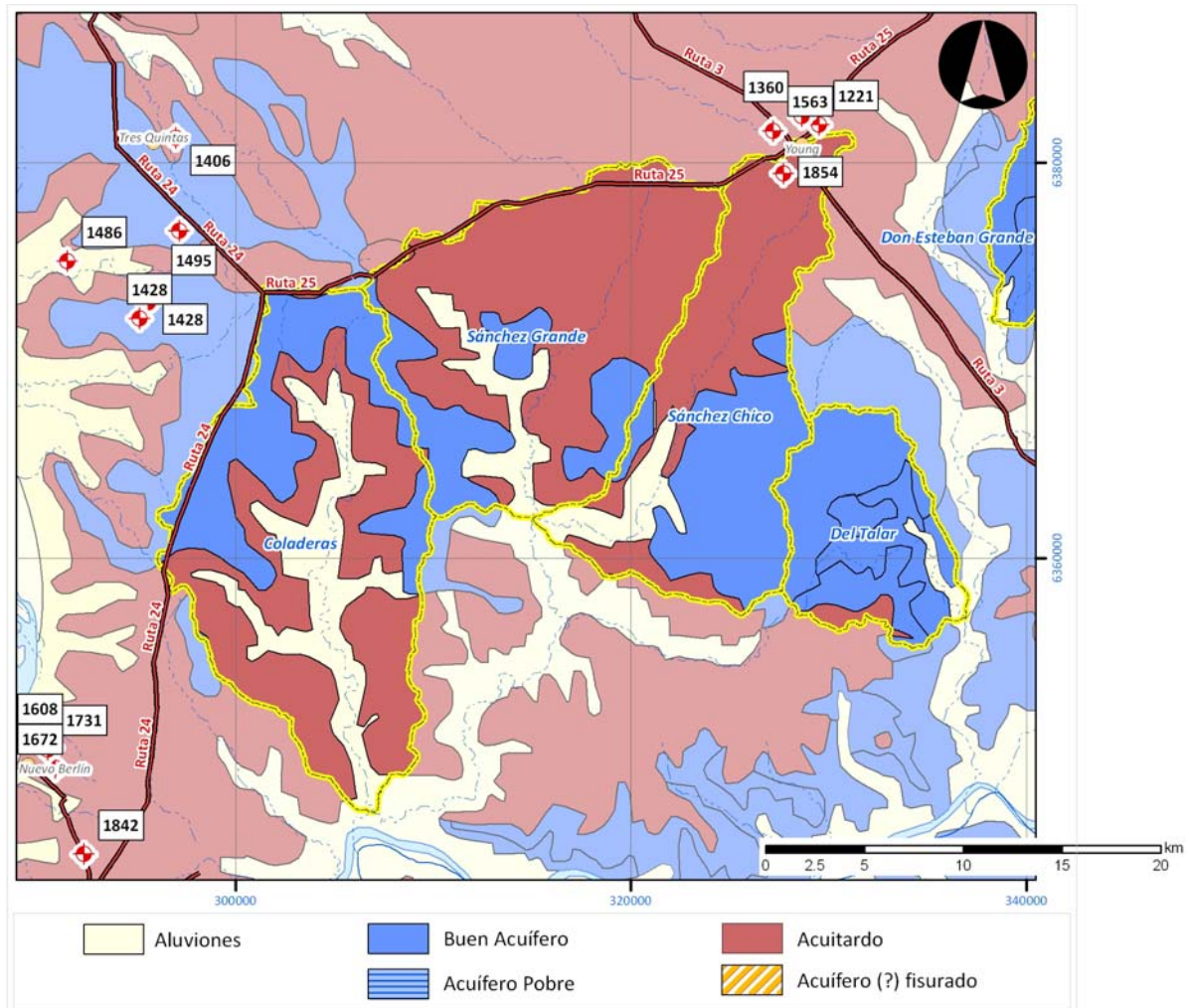


Figura 34: Unidades hidrogeológicas de las cuencas Coladeras, Sánchez Grande, Sánchez Chico y Del Talar

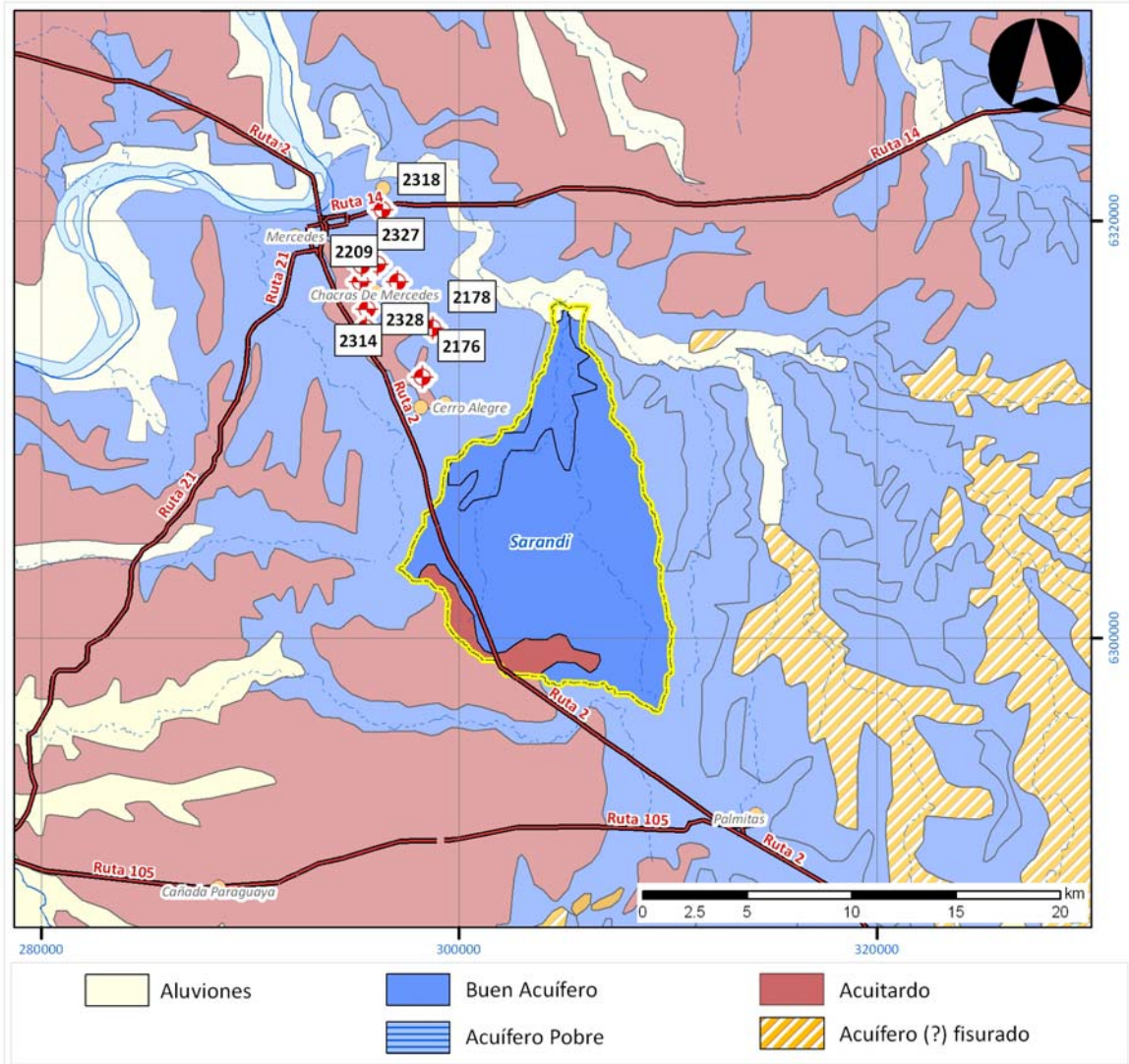


Figura 35: Unidades hidrogeológicas de la cuenca Sarandí.

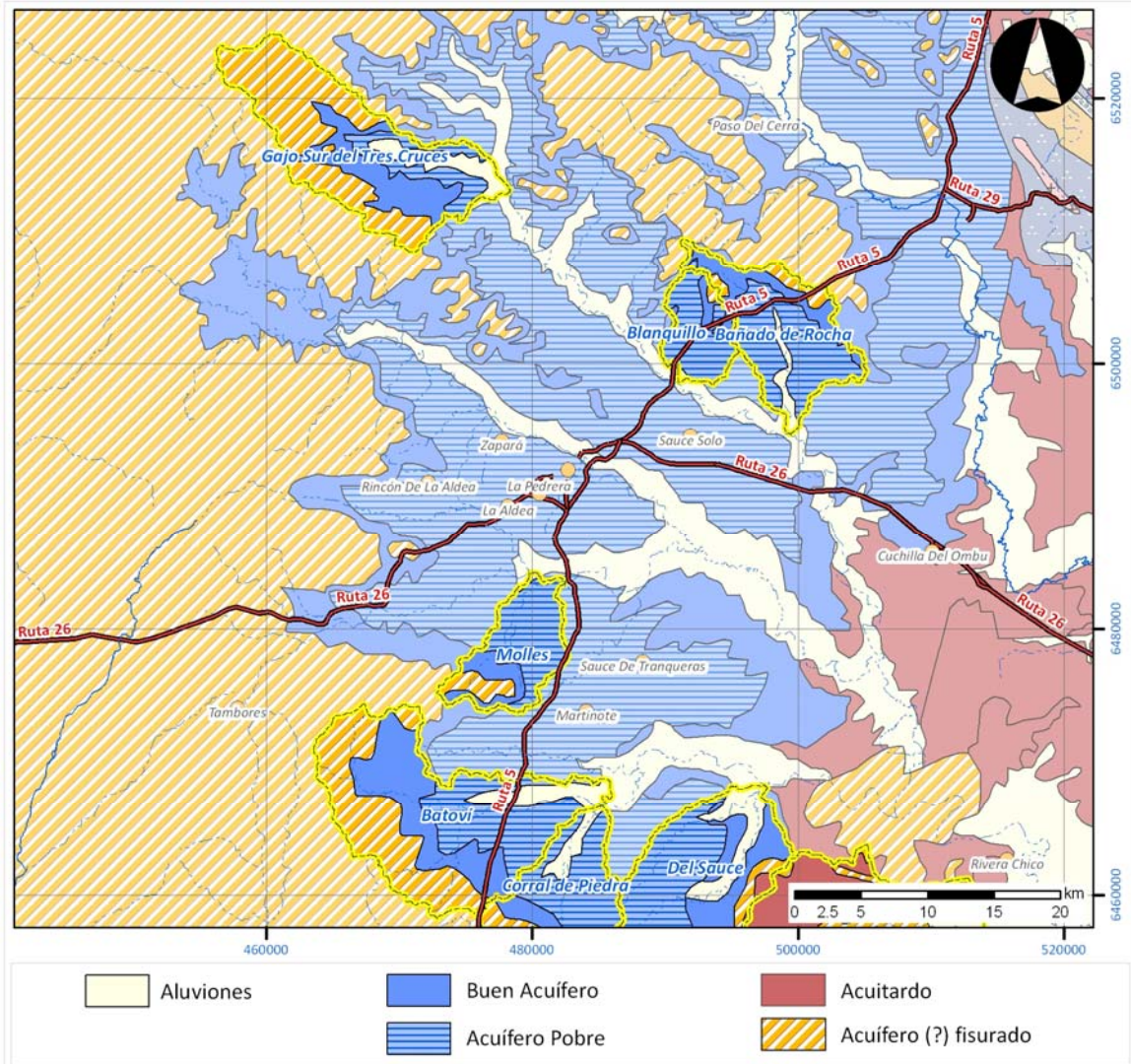


Figura 36: Unidades hidrogeológicas de las cuencas Gajo Sur del Tres Cruces, Blanquillo, Bañado de Rocha y Molles.

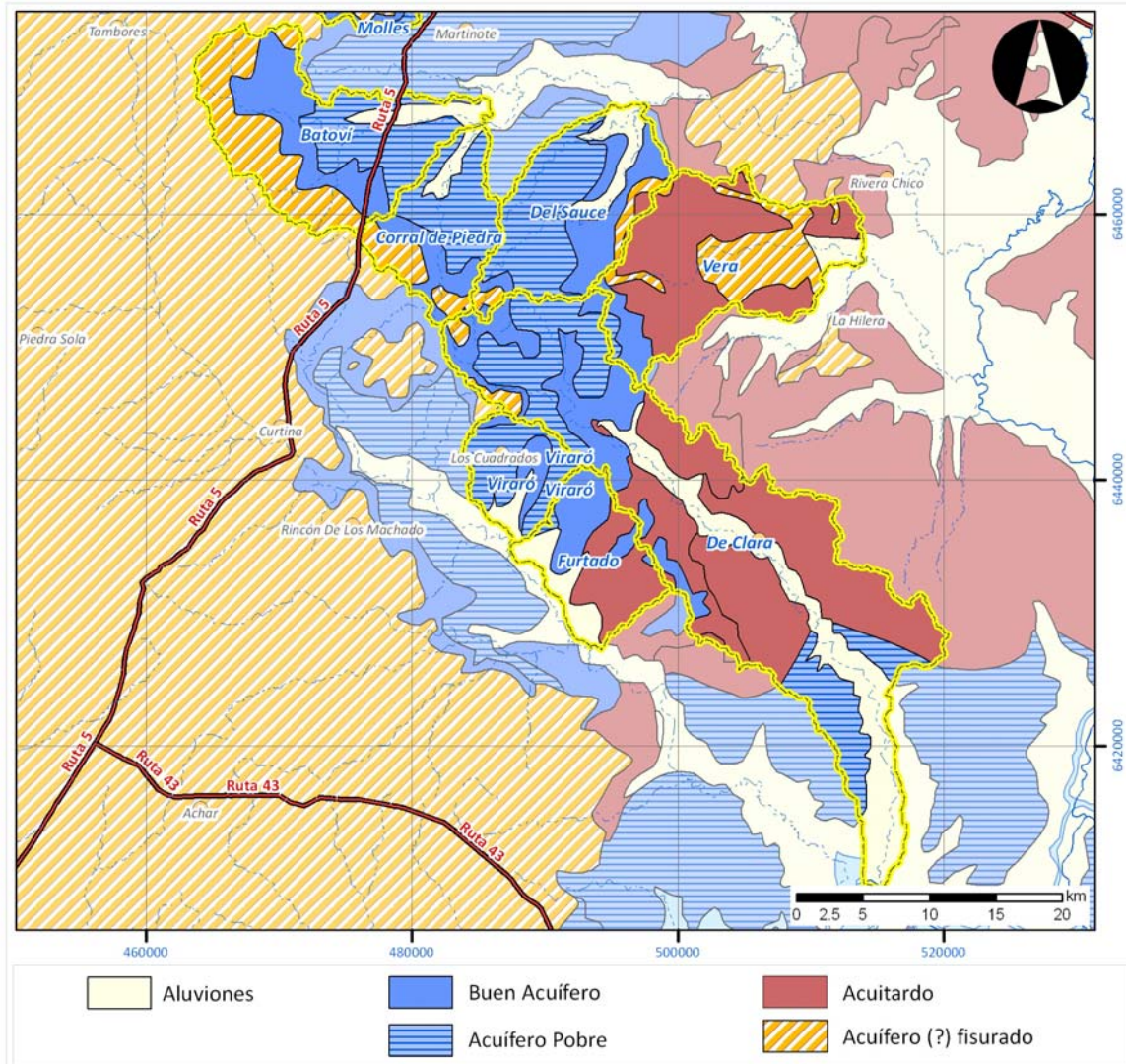


Figura 37: Unidades hidrogeológicas de las cuencas Batoví, Del Sauce, Corral de Piedra, Vera, Viraró, Furtado y De Clara.

Todas las unidades expuestas pueden ser consideradas extracuencales a la escala de análisis (1/500.000).

Cuenca del Arroyo Grande

La cuenca del Arroyo Grande fue seleccionada para el relevamiento detallado del medio físico y social y la evaluación completa y cuidadosa del impacto de la actividad forestal en todas sus etapas. La cuenca posee 53855 hectáreas y su baricentro se ubica en las coordenadas planas 378544m – 6408375m (32º 27' 44.8" de latitud Sur y 57º 05' 31.8" de longitud Oeste) en el Dpto. de Río Negro. El límite septentrional es la Cuchilla de Haedo prácticamente coincidente con la continuación de la ruta 90 (camino "de arriba" entre Guichón y Piñera) y la ruta 25 entre Piñera y Merinos. La localidad de "Los Mellizos" se ubica dentro de la cuenca en análisis y el punto de vertido o salida de la cuenca está en las coordenadas planas 366720m – 6392764m (32º 36' 06.5" S – 57º 13' 12.3" W). Los parámetros físicos determinados para esta cuenca se presentan en la tabla 13.

Parámetro	Valor
Nombre	Arroyo Grande
Código	30035
Area	53854.7há
Perímetro	128700m
Longitud de máximo recorrido	31225m
Longitud de la red de drenaje	256750m
Cota mínima	49m
Cota máxima	172m
Altura media	101m
Baricentro	378544/6408375
Punto de vertido	366720/6392764
Factor de forma	0.552
Compacidad	1.55
Pendiente media	0.38
Coefficiente orográfico	18.9
Densidad de drenaje	0.48m ⁻¹
Índice de alargamiento	1.59
Coefficiente de masividad	0.19 m ⁻¹

Tabla 13: Parámetros morfométricos más importantes para la cuenca del Arroyo Grande.

Cartografía geológica a escala 1/500.000

La cuenca del arroyo Grande posee según la carta geológica del Uruguay a escala 1/500.000 de Bossi et al. (1998) un subsuelo compuesto por las siguientes unidades geológicas, de base a cima:

- Formación Arapey
- Formación Guichón
- Formación Mercedes
- Aluviones

La descripción de cada una de estas unidades se hizo oportunamente cuando se expuso la constitución geológica de todas las cuencas de orden 3 y no se volverá a repetir aquí por motivos de espacio. En la figura 38 se presenta la geología de la cuenca tal como surge de la carta geológica de Bossi et al. (1998) remuestreada a escala 1/150.000 aprox. Y en la tabla 14 las áreas de cada unidad aflorante.

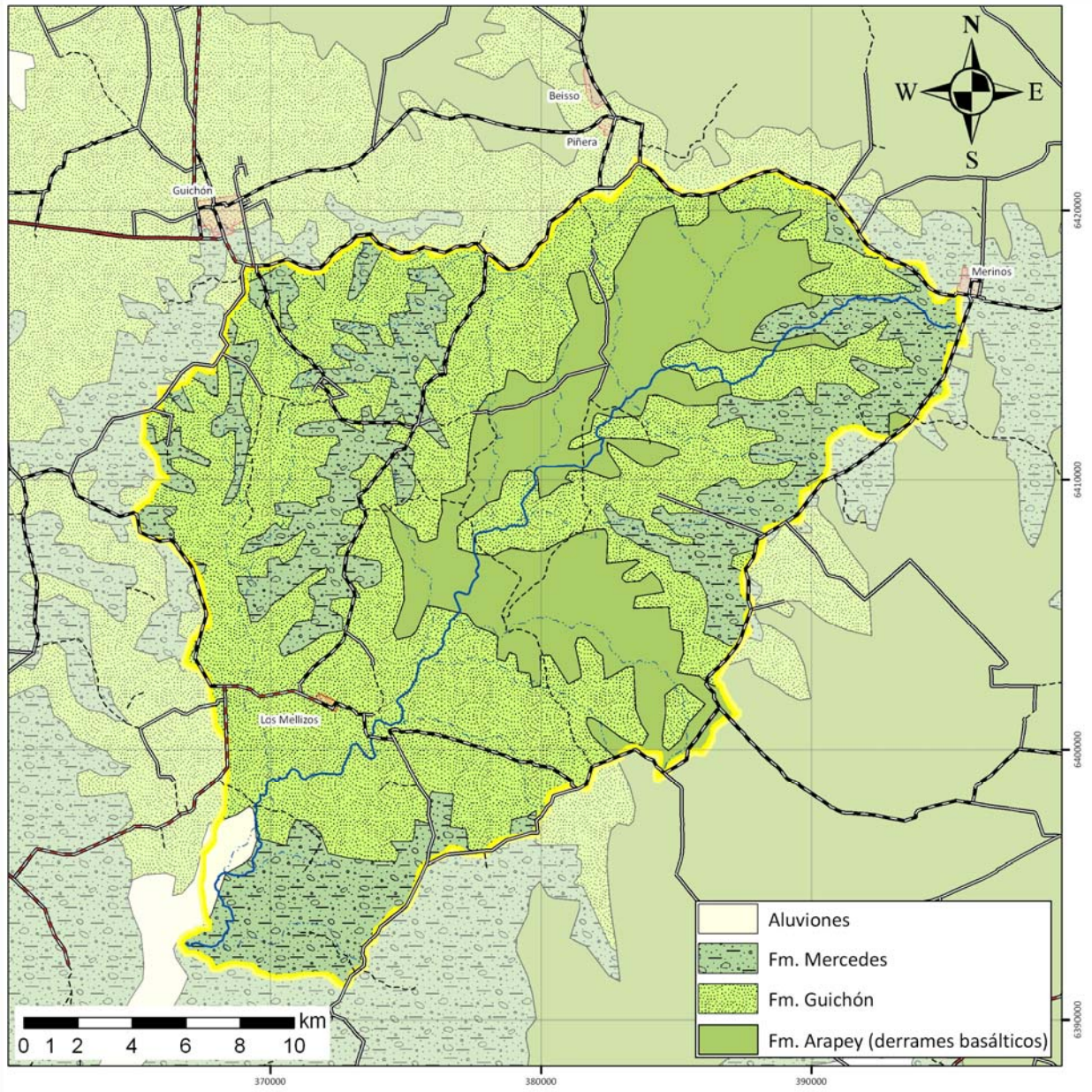


Figura 38: Geología a escala 1/500.000 de la cuenca del Arroyo Grande

Unidad Geológica	Area	Porcentaje
Aluviones	424.9há	0.8%
Fm. Mercedes	13406.6há	24.9%
Fm. Guichón	28571.9há	53.0%
Fm. Arapey	11473.8há	21.3%

Tabla 14: Areas y porcentaje de afloramientos de las unidades geológicas en la cuenca del Arroyo Grande

Cartografía geológica a escala 1/20.000 de la cuenca

Como resultado del plan cartográfico a escala 1/20.000 que ha desarrollado Forestal Oriental S.A. durante el año 2006 se obtuvieron los mapas geológicos detallados de los predios del Distrito 4 tal como se exponen en la figura 39.

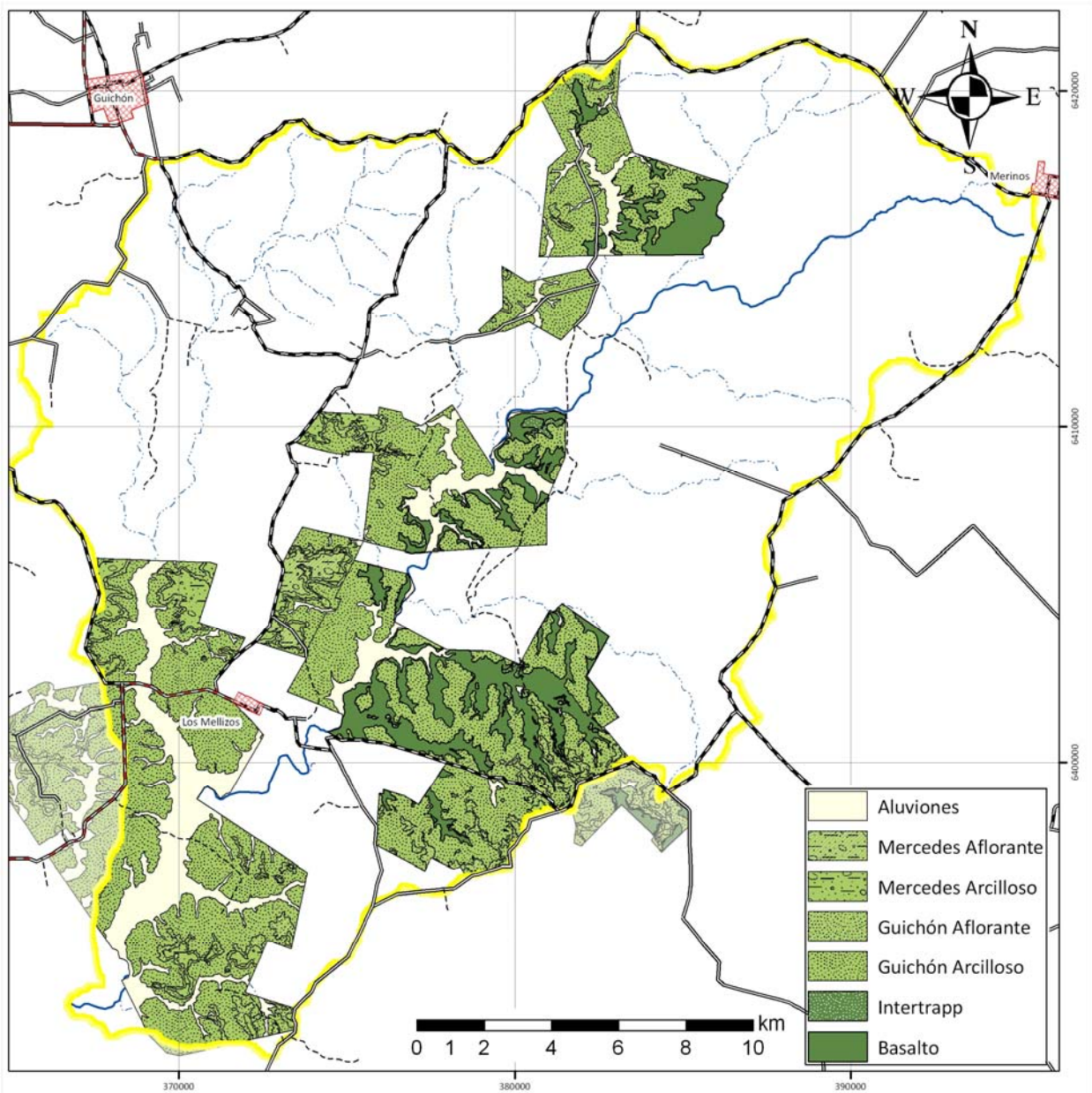


Figura 39: Carta geológica a escala 1/20.000 de los predios del Distrito 4 incluidos en la cuenca del Arroyo Grande.

La cartografía originalmente se circunscribía exclusivamente al contorno de los predios de FOSA. Luego se consideró necesario extenderla en el área perimetral a los efectos de contar con un panorama regional de la situación geológica en los predios vecinos. El Distrito 4 es el único en el que no se ha extendido todavía la cobertura geológica. Las unidades cartografiadas hasta ahora a escala 1/20.000 en la cuenca se han subdividido sobre la base de sus propiedades texturales de tal manera de que sean

compatibles con una regionalización enfocada en la industria forestal. Se ha prestado especial atención a parámetros como el drenaje interno – directamente dependiente de la textura del material sedimentario – y a la facilidad/dificultad de penetración por parte de las raíces, dependiente de la textura del sedimento y del volumen y naturaleza del agente cementante.

Se realizará la descripción de cada una de las unidades separadas sobre la base de la información colectada en el campo:

Aluviones

Los aluviones se desarrollan extensivamente en la cuenca del Arroyo Grande, siempre ocupando los valles fluviales. Poseen techo plano y piso cóncavo y tienen asociados suelos hidromórficos o y vegetación de bañado o se trata directamente de humedales.

Los materiales que los conforman pudieron ser observados en distintos puntos del Distrito, en sitios donde se desarrollan escarpas o barrancas en las riberas erosivas de los cursos de agua meandriformes. El material dominante posee estructura tabular horizontal, con colores grises, negros, blancuzcos y a veces pardos o marrones (figura 40). Se suceden estratos arenosos y areno-arcillosos, con contenido variable de materia orgánica pero siempre importante. En algunos sitios pueden apreciarse indicios de ambientes permanentemente anegados o saturados con agua, donde imperan condiciones de reducción (colores verdes, concreciones de hidróxidos de manganeso, etc.).

Por lo que puede apreciarse en la zona cartografiada, el nivel de base de los cursos hidrográficos a descendido significativamente, obligando a los cursos a entallarse en sus planicies aluviales. Localmente, y cerca de las cabeceras de los arroyos o cañadas, pueden apreciarse barras areno-gravilosas que desaparecen a medida que el perfil del curso se hace más plano. La potencia (espesor) de estos aluviones es variable, pero fundamentalmente está comprendido entre los 2 y 5 metros en las zonas con mayor extensión lateral.



Figura 40: Aluviones expuestos en la vera de un curso de agua.

Fm. Mercedes areno-arcilloso Superior

Con este nombre se agrupa una asociación litológica que es sujeto de explotación forestal, está fundamentalmente compuesta por areniscas finas a medias, bien seleccionadas, poco arcillosas, de color blanco a rosado muy pálido, eventualmente con nódulos más rojizos. Se ubican en las zonas topográficamente más elevadas sobre las estribaciones australes de la Cuchilla de Haedo, inmediatamente al Norte del centro poblado “Los Mellizos”. Se trata del material que se desarrolla en el tope de la meseta del establecimiento “La Nueva Esperanza” donde se han instalado las cuencas apareadas de monitoreo.

Aunque los espesores detectados en este Distrito de lo que denominamos “Mercedes Superior” son siempre inferiores a los 5 metros (quizás 3), su buen drenaje interno y la poca cementación (con carbonato de calcio y algunos nódulos silicificados) la vuelven idónea para el crecimiento de los árboles.

Texturalmente se trata de arenas finas a medias, de selección buena, subangulosas, medianamente maduras (cuarzosas) con menos de 10% de contenido arcilloso. El cemento volumétricamente más importante es el carbonato de calcio pulverulento o intersticial, sigue en orden de abundancia la sílice amorfa (calcedonia) en nódulos de 1 a 2cm de diámetro. En tercer lugar se ubica el óxido de hierro (hematita) en nódulos o zonas amorfas.

Fm. Mercedes areno-arcilloso y Fm. Mercedes aflorante

Bajo este término se agrupan una serie de litologías que desde la base al tope incluyen:

- Bancos gravillosos y areno gravillosos de 1 a 5m de potencia (figura 43).
- Areniscas blancas, limpias y totalmente silicificadas (figura 45).
- Arenas calcáreas o calizas arenosas, fuertemente silicificadas (figura 44).
- Areniscas finas a medias, con gravas dispersas y bancos lutíticos. Incluyen intraclastos lutíticos. El contenido en arcilla es importante.

Esta sucesión pasa transicionalmente a lo definido en el apartado anterior como “Mercedes Superior”. Los bancos gravillosos y areno gravillosos, las areniscas silicificadas y a veces las areniscas calcáreas o calizas arenosas, dan lugar a escarpas muy significativas en la topografía, con estructuras mesetiformes subhorizontales (figura 41 y 42).



Figura 41: Escarpas generadas en el contacto entre las formaciones Mercedes y Guichón. La escarpa (en este sitio) está formada por los niveles areno-gravillosos fuertemente cementados con sílice.



Figura 42: Otra exposición del contacto Guichón – Mercedes (NE de “La Gringa”)



Figura 43: Conglomerados en la base de la formación Mercedes. Izquierda: véanse las estructuras sedimentarias (estratificación cruzada en la base y tabular subhorizontal en el centro y arriba). Derecha: detalle de la estructura de este conglomerado.



Figura 44: Areniscas calcáreas ubicadas inmediatamente por encima del nivel de areniscas conglomerádicas y conglomerados silicificados expuestos en la figura anterior. A la derecha: detalle de la muestra de mano, véanse los nódulos sub-esféricos sustituidos por sílice.

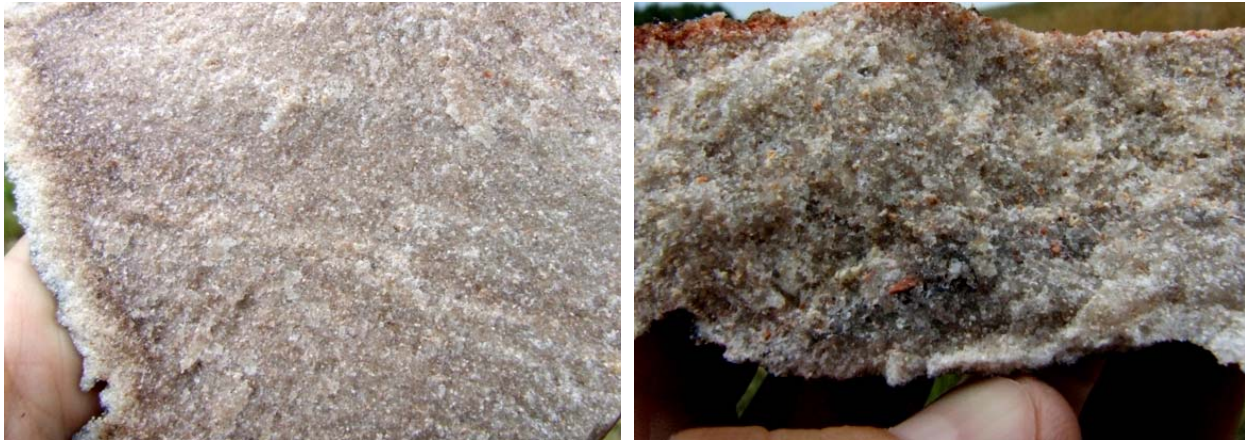


Figura 45: Areniscas fuertemente silicificadas apoyadas sobre el nivel calcáreo antes mostrado.

Las propiedades físicas de estas unidades son similares en cuanto a drenaje y penetrabilidad para las raíces. Son niveles virtualmente impermeables que hacen de piso a acuíferos colgados desarrollados en las litologías superiores (areniscas arcillosas), y que cuando la topografía resultante es perfectamente horizontal desarrolla un drenaje impedido en forma de “ojos de agua”. Además son tenaces, y la penetración de las raíces se hace exclusivamente por las fracturas.

La posición de las litologías arena – arcillosas, y siempre y cuando la potencia de esta unidad supere el metro, la vuelve interesante para el objetivo perseguido. Esta litología (arenisca arcillosa de color verde claro a blanco grisáceo) se desarrolla – a veces – hasta cotas inferiores a las de los niveles silicificados, en forma de valles o depresiones en las mesetas (figura 46).

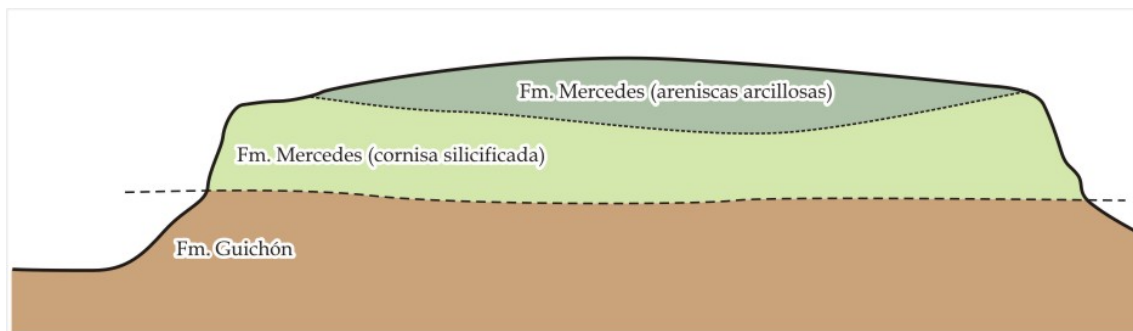


Figura 46: Geometría interpretada de la cornisa silicificada de la Fm. Mercedes.

Fm. Guichón aflorante

Este término se compone de areniscas finas a medias, arcillosas (de composición predominantemente montmorilloníticas), subredondeadas a redondeadas, cuarzo – feldespáticas y bien seleccionadas. Como característica distintiva aparecen pequeñas partículas esféricas de 2 a 3mm de diámetro de intraclastos pelíticos rojos.

En la porción superior de la formación Guichón se desarrolla un nivel fuertemente cementado con carbonato de calcio, muy raramente con sustitución nodular de calcedonia, a la cual hacemos referencia en este apartado.

El nivel generado tiene geometría tabular subhorizontal (figura 47), con potencias – espesores – comprendidos entre 2 y 10 metros. La estructura interna de este nivel es muy particular, con disolución parcial en forma de canales subverticales a verticales y decoloración a blanco de las areniscas originalmente rosadas (figura 48). No se distinguen estructuras sedimentarias originales (laminación, estratificación, etc.) lo que presupone una bioturbación por raíces a gran escala.



Figura 47: Cornisa generada por el término aflorante de la Fm. Guichón.



Figura 48: Areniscas rosadas cementadas con carbonato de calcio de la Fm. Guichón aflorante. En la fotografía de la izquierda se aprecian los huecos de los canales verticales decolorados a blanco. A la derecha: un detalle de la textura de estas areniscas, véanse los intraclastos pelíticos rojizos en el centro-inferior de la muestra.

Fm. Guichón areno – arcilloso

Las litologías agrupadas bajo este nombre ocupan el área más importante del Distrito 4 y conforman el subsuelo del área plantable por excelencia de esta región.

Este término incluye como litología dominante a areniscas finas a medias, de muy buena selección, con más de 10% de arcilla montmorillonítica en volumen, de colores rosados a rojos, y con una

estratificación subhorizontal muy basta como estructura omnipresente. A veces se intercalan algunos depósitos canaliformes de grava arenosa o bancos lutíticos laminados milimétricamente (figura 49).



Figura 49: Areniscas arcillosas rojas de la Fm. Guichón

Esta unidad no aflora naturalmente salvo en escarpas muy pronunciadas, en la cercanía al nivel cementado superior de la Fm. Guichón (aflorante). Las mejores exposiciones se encuentran a lo largo de las cunetas maquinadas de los caminos del Distrito.

El drenaje es mediocre, aunque nunca permanece anegado – salvo en zonas topográficamente deprimidas – y la tenacidad y excavabilidad es muy baja, lo que permite una sencilla penetración por parte de las raíces.

Fm. Arapey (intertraps)

La formación Arapey está integrada por la sucesión de derrames basálticos y sábanas de areniscas eólicas interdigitadas entre ellos. En este caso, los intertraps cartografiados ocupan un área restringida en el Distrito y se desarrollan exclusivamente en la cuenca del Arroyo Grande.

Se trata de depósitos de areniscas finas a medias, de extremadamente buena selección, muy redondeadas y fundamentalmente cuarzosas. No tienen arcilla matricial y se encuentran muy silicificadas debido al calentamiento y recristalización de los granos de cuarzo provocados por el derrame de una colada basáltica superior, a temperaturas superiores a los 1000°C.

Fm. Arapey (basaltos)

Las litologías basálticas ocupan un área extensa en la cuenca del Arroyo Grande, e incluyen términos masivos, lajosos y vesiculares, propios de la estructura interna de los derrames (figura 50). Son en general rocas de grano fino, compuestas en partes iguales por un feldespato calco-sódico y un mineral ferromagnesiano (piroxeno).

Debido a su composición química y a la temperatura de extrusión, son rocas fácilmente meteorizables, que dan lugar a minerales secundarios arcillosos montmorilloníticos y a óxidos e hidróxidos de hierro y magnesio. Los suelos formados a sus expensas (y los mantos de alteración) pueden tener profundidad o espesor variable, desde cero (litosoles) a más de 2 metros.

Cuando el perfil meteorizado es potente y la topografía no constituye un impedimento para el drenaje, puede constituir un material apropiado para el crecimiento del bosque.



Figura 50: Afloramientos de basalto. A la izquierda: basalto con un grado importante de meteorización que da lugar a un manto de alteración de más de 1.5m de potencia. A la derecha: basalto poco meteorizado, con un suelo de menos de 40cm en su parte superior.

Cobertura fotográfica a escala 1/20.000 disponible

Para ejecutar la cartografía geológica a escala 1/20.000 que se expuso en las páginas anteriores fue necesario adquirir las fotografías aéreas que cubrieran los predios del Distrito 4. Las copias fotográficas se encuentran disponibles así como su versión digital. El área originalmente cubierta fue mayor a la cartografiada, tal como se expone en la figura 51.

Las fotografías aéreas de la misión del año 1967 necesarias para cubrir el resto de la cuenca del Arroyo Grande serán obtenidas en formato digital y georeferenciadas a los efectos de culminar la cartografía geológica detallada de la cuenca de tal manera de poder definir los distintos acuíferos existentes en la región y su eventual grado de interdependencia.

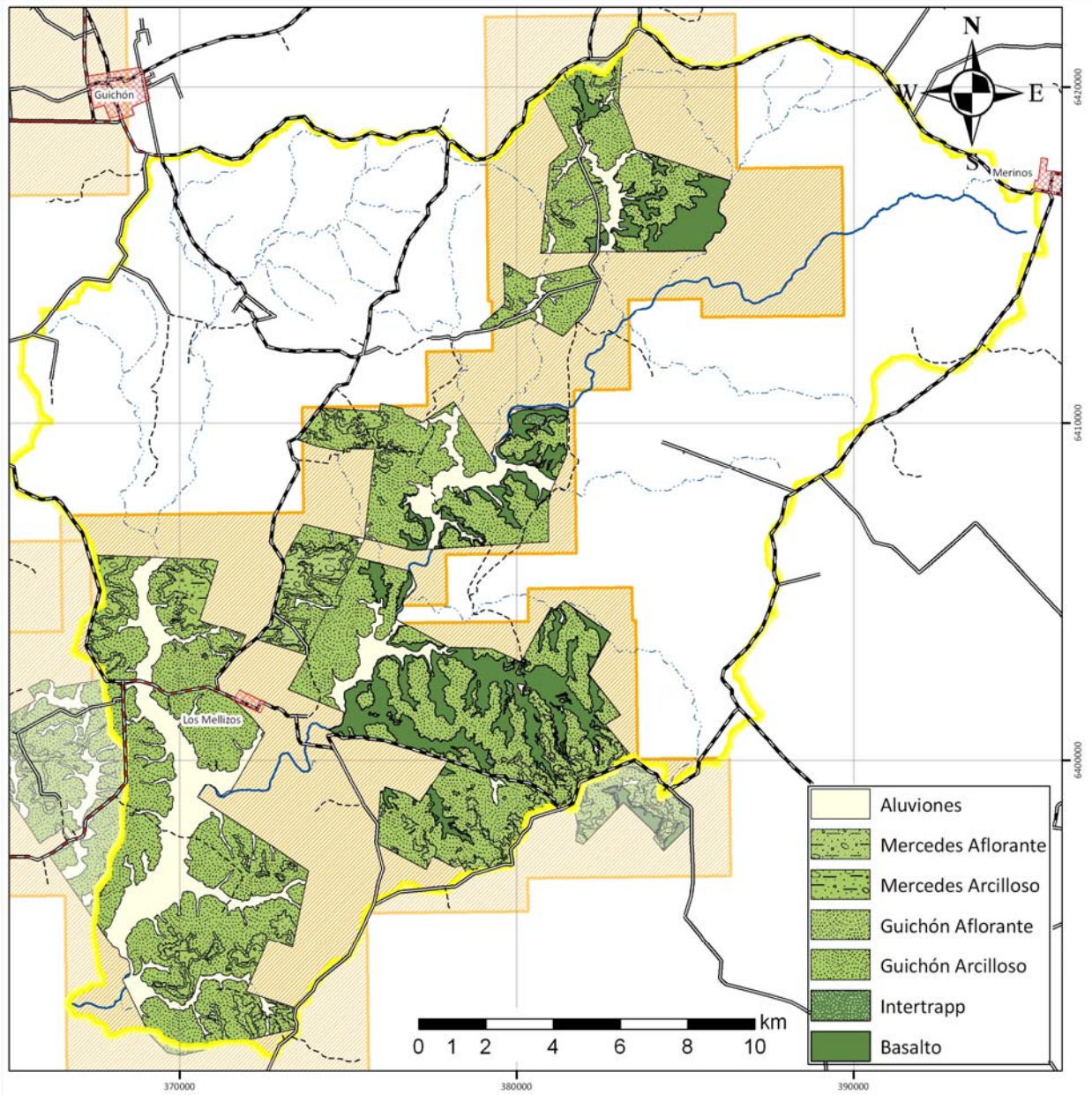


Figura 51: Area cubierta por fotografías a escala 1/20.000 disponibles.

Tareas a Ejecutar

A partir de la síntesis respecto a la composición geológica de la cuenca del Arroyo Grande expuesta en este informe, se han revelado una serie de necesidades críticas que deberán ser ejecutadas antes de proseguir con el desarrollo del estudio de referencia. En este sentido es imprescindible contar con la cartografía geológica detallada a escala 1/20.000 de toda la cuenca de tal manera de definir con precisión la extensión de las zonas riparianas y la geometría, extensión y eventual interconexión entre las unidades que se comporten como acuíferos en la cuenca del Arroyo Grande.

Respecto a la situación de los acuíferos vale acotar que la clasificación que adquiere especial relevancia en el estudio que se está realizando, tiene que ver con la extensión geométrica en planta y la definición como intracuenca o extracuenca. Sin contar con la cartografía geológica detallada de toda la cuenca esta clasificación es imposible.

De esta manera, las tareas a ejecutar para el segundo informe de avance serán:

- a) Finalizar la cartografía geológica a escala 1/20.000 de la cuenca del Arroyo Grande;
- b) Cartografía detallada de las zonas riparianas;
- c) Clasificación de unidades geológicas sobre la base de su calidad como almacén y conductor de agua subterránea;
- d) Catastro de perforaciones en patrimonio de Forestal Oriental (si existiesen)
- e) Definición tentativa de parámetros hidráulicos básicos de los principales acuíferos involucrados;
- f) Desarrollo de índices geomorfológicos cuantitativos (mapas de pendiente, etc.);
- g) Descripción del medio físico geológico, geomorfológico e hidrogeológico en la cuenca del Arroyo Grande;
- h) Análisis de cruces temáticos posibles y resultados iniciales (interacción de diferentes disciplinas en el entorno SIG);
- i) Definición preliminar de las áreas con vacíos de información y tareas necesarias para su resolución;
- j) Listado preliminar de impactos de la forestación sobre el medio geológico e hidrogeológico.

Montevideo, 15 de mayo del 2007



Lic. Alejandro SCHIPILOV
GEOLOGO