



Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní



## **Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní**



**PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD**

**INFORME DE ACTIVIDADES**



## INFORME DE ACTIVIDADES

ÁREA TEMÁTICA: *Geología: Estratigrafía, Medición de Paleocorrientes*

LUGAR: *Rivera-Santana*

PERÍODO: 06/09/06 al 10/09/06

Preparado por:

*Ana María Castillo Clerici*  
*Pasante*

15/09/06



## Equipo del Proyecto

### Responsables Nacionales

Por Argentina	Fabián López
Por Brasil	João Bosco Senra
Por Paraguay	Alfredo Molinas
Por Uruguay	Víctor Rossi

### Coordinadores Nacionales:

Argentina	Miguel Ángel Giraut
Brasil	Julio Thadeu Kettelhut
Paraguay	Elena Benítez
Uruguay	Alejandro Arcelus

### Representantes de OEA:

Jorge Rucks  
Pablo González

### Representantes Banco Mundial:

Abel Mejía  
Samuel Taffesse

### Integrantes de la Secretaría General:

Secretario General	Luiz Amore
Coordinador Técnico	Jorge Santa Cruz
Coordinador Técnico	Daniel García Segredo
Coord. Comunicación	Roberto Montes
Asistente técnico	Griselda Castagnino
Asistente técnico	Alberto Manganelli
Administración	Luis Reolón
Auxiliar Administrativa	Alejandra Griotti
Informática	Gabriel Menini
Secretaria Bilingüe	Mariángel Valdés

### Facilitadores proyectos piloto:

Concordia – Salto	Enrique Massa Segui
Rivera – Santana	Achylles Bassedas
Itapúa	Alicia Eisenkölbl
Ribeirão Preto	Heraldo Campos



La ejecución del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní es posible gracias al acuerdo de cooperación alcanzado entre los gobiernos de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, el aporte financiero del Global Environment Facility (GEF) y otros donantes, la cooperación técnica y financiera del Banco Mundial que es la agencia implementadora de los Fondos GEF y la Secretaría General de la Organización de Estados Americanos (SG/OEA) en su condición de agencia ejecutora regional.

Dentro de la Componente 1 destinada a la expansión y consolidación de la base de conocimiento científico y técnico existente acerca del Sistema Acuífero Guaraní se lleva adelante el Programa de Seguimiento y Control de Calidad de las actividades desarrolladas por las diferentes empresas adjudicatarias de las licitaciones correspondientes.

Las Empresas Participantes son:

Licitación SBCC/01/04 – 1/1018.1 Servicios de Hidrogeología General, Termalismo y Modelo Regional del Acuífero Guaraní.

**“Consorcio Guaraní”**

**(TAHAL; Hidrocontrol S.A.; Hidroestructuras S.A.; SEINCO; Arcadis hidroambiente S.A.)**

**Patria 566 – Tel/Fax.: (598-2) 7105133 - C.P. 11300 – Montevideo – Uruguay**

**Coordinador Proyecto: Ing. Jorge de los Santos**

**[jdelossantos@seinco.com.uy](mailto:jdelossantos@seinco.com.uy)**

Licitación LPI/03/05 Servicios de Inventario, Muestreo, Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica, Isótopos e Hidrogeología localizada del Sistema Acuífero Guaraní

**SNC-Lavalin Internacional Inc.**

**(DH; PROINSA; P y T Consultora; LCV; GEODATOS)**

**2200 Lake Shore Blvd. W. Tel.: (416) 252-5311 Fax: (416) 231-5356**

**Toronto (Ontario) M8V 1A4 Canadá**

**Coordinador Proyecto: Ing. Andrew Gilchrist**

**[andrew.gilchrist@snclavalin.com](mailto:andrew.gilchrist@snclavalin.com)**

Los resultados, interpretaciones, conclusiones, denominaciones y opiniones vertidas en este informe y la forma en que aparecen son responsabilidad exclusiva del autor y no implican juicio alguno sobre las condiciones jurídicas de los países, territorios, ciudades o zonas, o de actividades diversas, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites, por parte de los países beneficiarios, ni de la Secretaría General de la OEA (SG/OEA), ni de la Secretaría General del Proyecto (SG-SAG).



## **INTRODUCCIÓN:**

En el marco de la pasantía “Fortalecimiento Institucional” para profesionales de la región y en particular para el caso específico que me ha sido encomendado por el proyecto; la realización de una recopilación e interpretación de datos y trabajos de investigación sobre paleo-corrientes a nivel regional de la Cuenca del Paraná, de las areniscas de las formaciones Misiones-Piramboia/Botucatu-Tacuarembó, de Paraguay y Argentina, Brasil, Uruguay y Argentina, respectivamente.

Las paleo-corrientes se pueden deducir a través de estructuras primarias; en particular de estratificaciones entrecruzadas u otras estructuras que presentan como propiedad común los sedimentos clásticos, de granulometrías gruesas a finas, de orígenes subacuáticos o eólicos.

La estratificación entrecruzada es un rasgo útil para determinar la dirección de la corriente y para determinar el techo y la base de los estratos verticales o volcados, es un medio por el cual se puede inferir las direcciones de flujo, de las formaciones estratigráficas que pueden contener al sistema acuífero guaraní.

La pasantía contempla también recabar informaciones “in situ” de primer orden en el campo, medir las estratificaciones entrecruzadas de origen eólico en la zona del proyecto piloto Rivera-Santana, en ese contexto, me cupo la tarea de acompañar los trabajos de la consultora P y T, en la zona de influencia de la Formación Tacuarembó, tanto en Rivera (Uruguay) como en Santana do Libramento (Brasil), del 6 al 10 de setiembre del cte.

## **Objetivo General:**

Recopilar e interpretar datos de toda la cuenca sobre los trabajos de investigación realizados para determinar las paleo-corrientes de las formaciones Misiones-Piramboia/Botucatu-Tacuarembó e inferir la dirección de flujo del Sistema Acuífero Guaraní en la Cuenca del Paraná.

## **Objetivo Específico:**

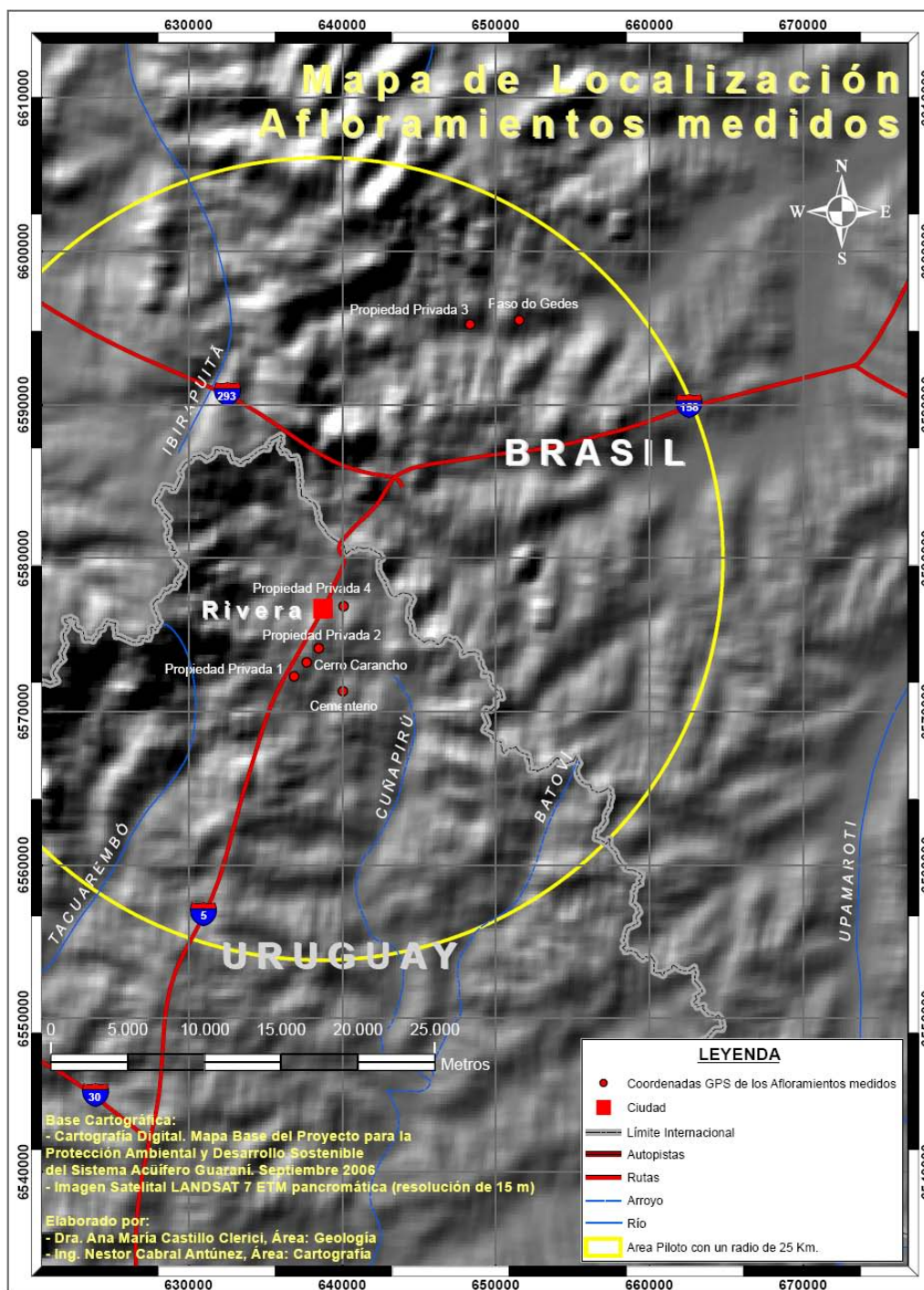
Obtener datos de mediciones de las estratificaciones entrecruzadas para inferir el sentido de las “paleo-corrientes” de sedimentos del ambiente eólico en el campo, en la zona del piloto Rivera Santana.





## Localización:

El área estudiada está localizada en la zona del Proyecto Piloto Rivera-Santana, en el Departamento Rivera de la República del Uruguay y en el Estado de Rio Grande do Sul, de la República Federativa de Brasil, respectivamente, *Fig.1:* Mapa de Localización y de puntos de muestreo de la zona estudiada.





## Clima, Geomorfología y Suelo

El clima en el Uruguay es subtropical húmedo, con precipitaciones que varían de 980 mm en el Sur a 1400 mm en el Norte, con una muy alta variabilidad interestacional e interanual. La temperatura media es decreciente de Norte a Sur, variando de 20 a 16°, en el marco de una estacionalidad definida, con presencia de heladas invernales y un verano cálido. El clima y la geomorfología definen una presencia abundante de cursos de agua superficiales permanentes a lo largo del año (in Perez Arrarte, C.).

En el área del Proyecto Piloto Rivera-Santana la geomorfología se define por suaves serranías constituidas de remanentes de areniscas y basaltos, y de valles de pendientes reducidas rellenos por suelos profundos del tipo areno, limoso y arcilloso que derivan de las areniscas y lavas efusivas que se encuentran en la región. (Fig. 2)



*Figura 2.* Afloramientos de Areniscas que conforman el relieve suave en la región.

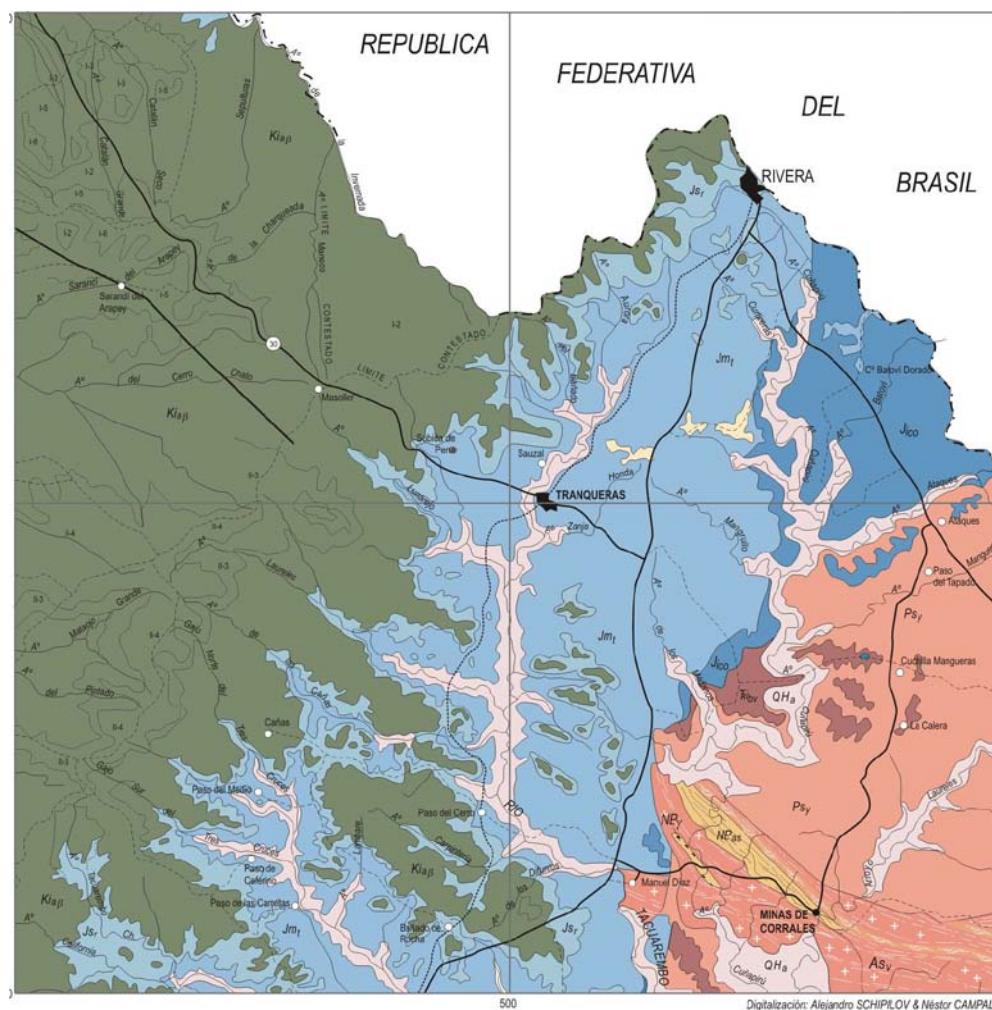


## Geología

La geología para este informe se presentará muy sucintamente debido a que nos abocaremos en forma preferencial a presentar los resultados del trabajo de campo, en concordancia con el objetivo específico del mismo.

La zona de Rivera y Santana se encuentra dentro de la Cuenca Norte, abarca toda la región centro-norte del territorio uruguayo, posee una superficie aproximada de 90.000 Km<sup>2</sup>, que comprenden los Departamentos de Artigas, Salto, Tacuarembó, Rivera y Paysandú, además de los cerros Largo, Durazno y Río Negro. (in Santa Ana et all, 2006).

La geología sintetizada del área está representada en la Fig.3, obtenida de la Carta Geológica del Uruguay, de escala 1:500.000 del año 2001 y la Fig. 4, se presenta el texto explicativo de la citada carta.



**Fig. 3:** Mapa Geológico del área Rivera-Santana





## CARTA GEOLOGICA DEL URUGUAY a escala 1/500.000 Versión 2.0 - 2001



AUTORES:  
BOSSI, Jorge  
FERRANDO, Lorenzo



Facultad de Agronomía  
Geoditores S.R.L.

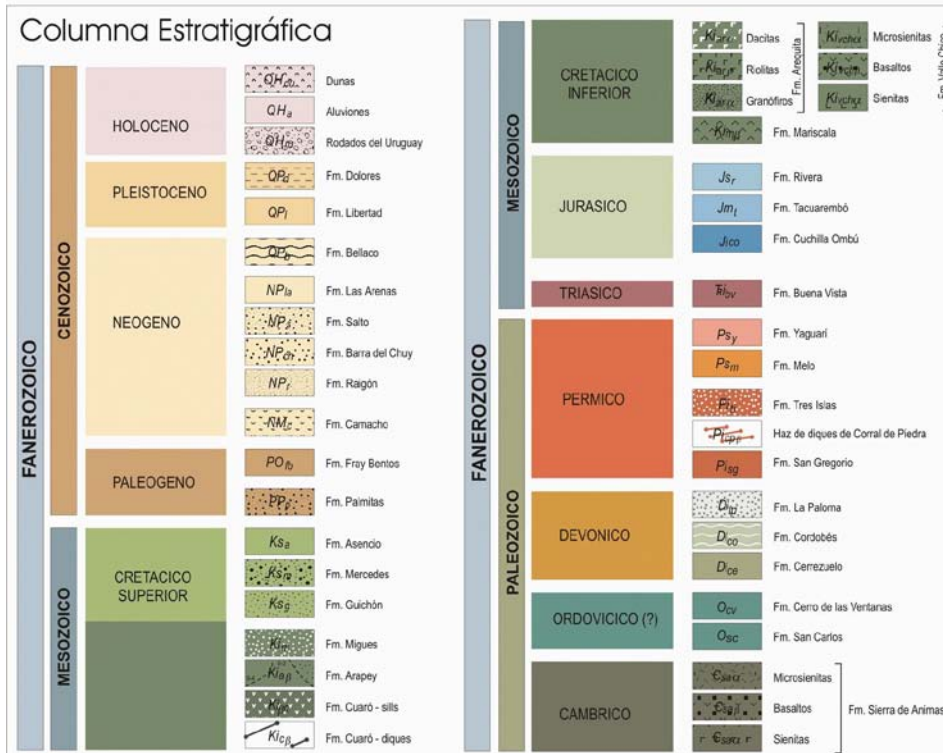


Figura 4: Columna Estratigráfica

La Figura 3 muestra que en la zona de estudio aparecen litologías pertenecientes a las secuencias vulcano- sedimentaria del Mesozoico y de sedimentación más recientes. La secuencia sedimentaria Mesozoica fue originada en ambiente continental, resultado de la aglutinación de los continentes en el Pérmico en uno único, el Pangea y que posteriormente en el comienzo del Triásico conformaron los continentes de Laurasia (Norte América, Europa y Asia) y de Gondwana (Sud América, Africa, India, Australia y Antártida).

La deposición de las lavas de tipo basálticos toleíticos y riolíticos en la zona es el resultado de la separación del Gondwana en el Jurásico, más específicamente de los continentes Sud-Americano y Africano.



En el Mesozoico los sedimentos se originaron en ambientes oxidantes, derivados de un clima predominantemente cálido y árido, resultado de un calentamiento global lo que se traduce en la zona de estudio en sedimentos continentales arenosos de origen fluvial y eólico.

El objeto de este trabajo fue medir las estratificaciones entrecruzadas de las areniscas eólicas de la Formación Tacuarembó, esta arenisca se encuentra en el nivel superior de la citada formación, sobre el nivel inferior de origen fluvial (en algunos afloramientos, hemos observado la deposición sedimentaria de los dos ambientes en forma interdigitada). El límite superior de la Arenisca Tacuarembó es concordante con las rocas basálticas de origen efusivo.

La característica más resaltante de las areniscas eólicas estudiadas son sus estratificaciones entrecruzadas de grande porte como se observa en la **Fig. 5**, poseen coloración variada de amarillentas a rojizas, con granulometría preferencial de media a fina, de buena selección, muy erosionables y de granos bien redondeados. Cuando están en contacto con los basaltos, se presentan silicificados y muy alterados (Fig. 6).



***Figura 5.*** Afloramiento de Arenisca con grandes exposición de sus planos de estratificación entrecruzada, claramente de médanos (Localización Propiedad Privada, Rivera, Uruguay)



***Figura 6.*** Afloramiento de Areniscas muy fracturadas por intrusión de basalto en la parte superior, muy alteradas tectónicamente y en el contacto con el basalto, está silicificada.  
Localización Propiedad Privada, Rivera

### **Metodología:**

La metodología empleada para las mediciones de las estratificaciones entrecruzadas de las areniscas fueron las siguientes;

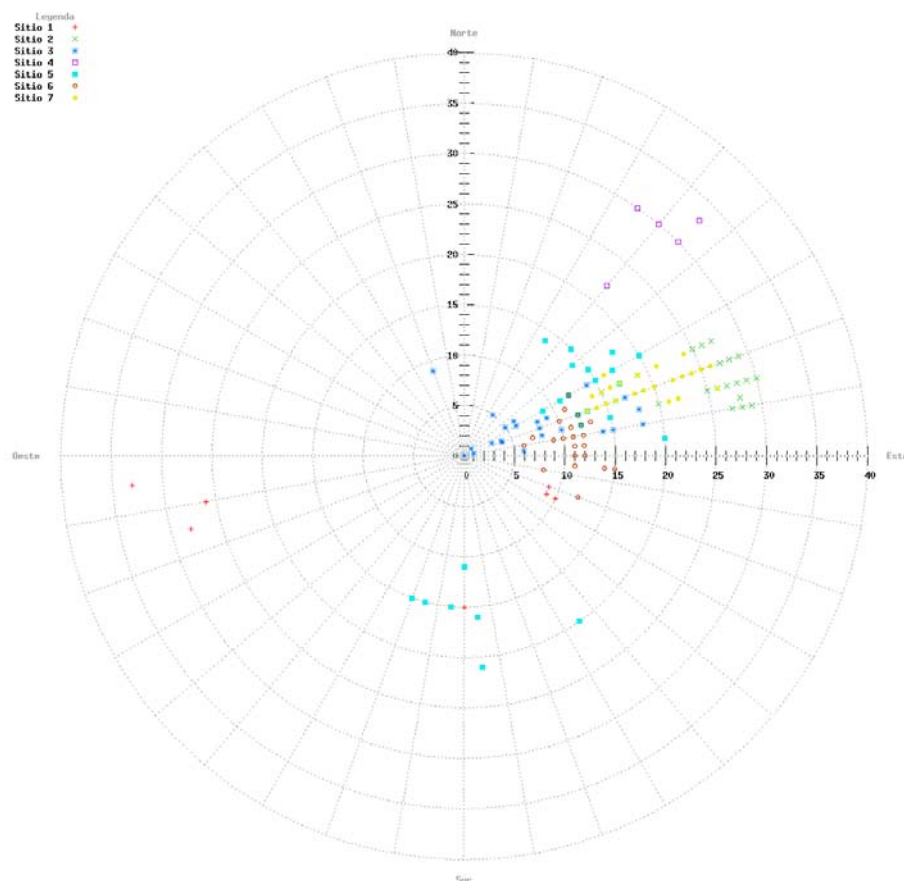
- 1) La obtención de coordenadas en cada sitio a ser medido a través del GPS.
- 2) Se midieron mediante brújula tipo Brunton; a) la dirección de la travesa de los estratos y b) de cada estratificación entrecruzada encontrada en dicha travesa; su variabilidad, expresada por el rumbo e inclinación del estrato.
- 3) Se extrajo una muestra de mano o en forma de “testigo” de cada lugar donde se realizaron las mediciones para su posterior análisis.

Las mediciones se realizaron solamente en las areniscas del ambiente eólico, en los de ambiente fluvial se tomaron muestras para el posterior análisis de petrografía.



## Resultados:

Los resultados de las mediciones realizadas en el campo pueden observarse en el diagrama rosáceo de la siguiente figura (Fig. 7)



La confección del diagrama mencionado se basa en los datos del Anexo 1 y Anexo 2, donde se presentan las tablas de las coordenadas de los afloramientos que fueron medidos, de las direcciones de las Traversas de cada afloramiento y de las direcciones e inclinaciones de todos los estratos.

Se puede observar claramente en el diagrama de la Fig. 7 que las direcciones preferenciales se encuentran en el cuadrante Nor-Este, principalmente entre los 60° y 80°, los afloramientos que tienden en sentido contrario se manifiestan en menor proporción, se localizan en los cuadrantes Nor-Oeste, Sur y Sur-Este lo que nos induce a pensar que el sentido regional de las paleo-corrientes tienden en la zona de estudio hacia el Nor-Este.

Los estratos tienen una inclinación preferencial entre 10° y 20° pero pueden llegar hasta más de 35°





El diagrama de la Fig. 7 ilustra un resultado parcial que tiene que ser investigado en mayor detalle en el futuro para su mejor interpretación pero ya podemos inferir de alguna manera que, si el sentido de las paleo-corrientes de la zona estudiada tiene una dirección preferencial Nor-Este, nos induce a pensar que el flujo del SAG viene desde esa dirección, dato que puede ser interesante desde el punto de vista de la gestión del mismo.

## **Conclusiones y Recomendaciones:**

El análisis de paleo-corrientes es una técnica que proporciona información acerca de la dirección local o regional de la pendiente del terreno, la dirección de la que proceden los sedimentos; la geometría y orientación de las unidades litológicas y finalmente el ambiente de depósito. Entre los indicadores de paleo-corrientes más utilizados se encuentran: rizaduras, estratificación cruzada, canales, marcas de excavación, granulometría.

El trabajo de campo consistió básicamente en hacer mediciones de las estratificaciones entrecruzadas de una sola travesa observada en el afloramiento y solamente en el ambiente eólico. Para una mejor interpretación de la paleo-corriente es recomendable realizar varias mediciones en un mismo afloramiento de forma a poseer los suficientes datos disponibles para realizar una media y representar estadísticamente la dirección del flujo. A pesar de poseer pocos datos debido al tiempo de campo, los resultados del mismo nos dan claramente una dirección preferencial del sentido de los paleo-vientos que se encuentra en su mayoría en el cuadrante NE, salvo algunos afloramientos que se encuadran en otras direcciones, la inclinación en cambio es variable, de 1° a 35°.

Este trabajo nos da como hemos señalado, un resultado parcial del sentido de las paleo-corrientes del ambiente eólico de sedimentación, sería conveniente que se puedan realizar en el futuro más mediciones en éste ambiente y realizar también en el medio fluvial de las areniscas cronológicamente similares ya que los dos ambientes se pueden encontrar juntos en un mismo afloramiento e inclusive en forma inter.-digitada de manera a poseer una visión más completa del paleo-relieve de la zona.

El trabajo de campo personalmente fue también muy ilustrativo en el sentido de conocer “in situ” la geología del área, hacer una comparación de la sedimentación de las areniscas Mesozoicas de ésta parte de la cuenca con el lado oeste (Paraguay) y este (Estado de San Pablo, Brasil).



## Anexo 1

### Tabla de las direcciones e inclinaciones de las Traversas.

	Lugar	Direcciones de la Traversa	Inclinación de la travesa
Sitio 1	Cerro Chapeu	112	43
Sitio 2	Cementerio	305	26
Sitio 3	Cerro Carancho	135	48
Sitio 4	Propiedad Privada	330	13
Sitio 5	Propiedad Privada	175	69
Sitio 6	Paso do Gedes	165	20
Sitio 7	Estancia	265	33
Sitio 8	Panoramico	300	12



## Anexo 2

**Tablas de las coordenadas de afloramientos medidos y de direcciones e inclinaciones de todos los estratos.**

	Local	X	Y	Dirección	Inclinación
Sitio 1	Cementerio	640048,478	6571322,269	255	28
				260	26
				265	33
				110	9
				180	15
				115	10
				115	9

	Local	X	Y	Dirección	Inclinación
Sitio 2	Cerro Carancho	637684,971	6573200,823	70	16
				65	19
				75	26
				80	27
				78	28
				75	20
				70	29
				65	27
				75	28
				75	29
				65	25
				70	27
				75	30
				65	26
				80	27
				65	26
				75	28
				75	25
				80	28
				80	28
				75	29
				80	28
				80	28
				70	28
				75	27
				80	29



	Local	X	Y	Dirección	Inclinación
Sitio 3	Propiedad Privada 1	636877,137	6572287,425	0	0
				75	1
				340	9
				45	1
				65	3
				35	5
				68	4
				80	14
				75	15
				75	18
				80	15
				75	12
				70	4
				60	6
				55	5
				85	6
				55	6
				75	8
				75	8
				70	8
				70	8
				65	8
				65	9
				75	8
				75	10
				75	12
				65	15
				70	17
				60	14
				80	18

	Local	X	Y	Dirección	Inclinación
Sitio 4	Propiedad Privada 2	638492,952	6574114,164	40	22
				35	30
				45	33
				40	30
				45	30
				45	30
				45	33





	Local	X	Y	Dirección	Inclinación
Sitio 5	Paso do Gedes	651530,651	6595518,591	70	12
				60	9
				75	12
				75	15
				60	11
				60	12
				60	9
				70	13
				35	14
				45	15
				50	14
				50	14
				55	15
				35	14
				60	17
				65	17
				55	18
				60	20
				60	15
				85	20*

	Local	X	Y	Dirección	Inclinación
Sitio 6	Paso do Gedes	651530,651	6595518,591	200	15
				180	11
				195	15
				185	15
				175	16
				175	21
				145	20



	Local	X	Y	Dirección	Inclinación
Sitio 7	Propiedad privada 3	648340,155	6595230,228	70	15
				65	17
				65	14
				65	14
				60	12
				80	11
				70	12
				75	12
				80	11
				75	11
				70	10
				80	6
				75	7
				65	11
				70	12
				75	13
				80	9
				85	12
				85	12
				80	12
				80	12
				80	10
				90	11
				100	8
				85	11
				95	15
				95	11
				95	14
				110	12
				90	12



	Local	X	Y	Dirección	Inclinación
Sitio 8	Propiedad Privada 4	640121,473	6576864,35	70	13
				70	14
				70	15
				65	14
				65	15
				70	15
				60	16
				65	16
				65	17
				70	18
				70	16
				65	17
				65	24
				65	19
				75	22
				70	20
				70	24
				65	21
				70	23
				75	21
				70	19
				70	22
				70	23
				70	25
				70	25
				70	26
				70	23
				70	24
				70	26
				75	26



GEF



Banco Mundial



OEA

---

Secretaría General del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní  
Edificio Mercosur - Dr. Luis Piera 1992, 2º piso - (CP:11200) - TelFax: (598 2) 410 03 37  
e-mail: [sag@sg-guarani.org](mailto:sag@sg-guarani.org) - web: [www.sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)  
Montevideo - Uruguay

---