

Análisis de calidad de agua en las micro-cuencas de los ríos Pacayacu y Sacha en la Amazonía Ecuatoriana

Santiago López**, Darryl Nevels, Thomas Kading

****Contacto:**

Universidad de Washington Bothell
Campus Box 358530
18115 Campus Way NE
Bothell, WA 98011-8246
Email: cslopez@uw.edu
Teléfono: 425-352-3393

Introducción

El agua de pozos (subterránea y superficial) es una importante fuente de agua para muchas personas alrededor del mundo, especialmente en zonas rurales (Nas y Berkta, 2010). El agua puede contaminarse de forma natural mediante procesos naturales como la descomposición orgánica o artificial mediante las actividades humanas como actividades extractivas agrícolas y/o minerales. La contaminación del agua puede resultar en calidad pobre de agua de consumo, pérdida de las fuentes de agua, costos extremos de limpieza y remediación, costos altos para el uso de fuentes alternativas de agua, y/o problemas de salud (Nas y Berkta, 2006).

El manejo de recursos naturales, en especial el agua, se ha beneficiado extremadamente en los últimos años por el uso de sistemas de información geográfica (SIG). Ejemplos del uso de SIG en lo que se refiere a agua subterránea incluyen el análisis de idoneidad de sitios de toma de agua, el manejo de inventarios de datos, la estimación de la vulnerabilidad de sitios de toma de agua a contaminación potencial de fuentes puntuales y no puntuales, etc. (Engel et al. 1999).

El propósito de este informe es documentar los resultados del análisis espacial y descriptivo de la calidad de agua de las muestras colectadas en las parroquias de La Joya de los Sachas (micro-cuenca del río Sacha) y Pacayacu (micro-cuenca del río Pacayacu) en las provincias ecuatorianas de Francisco de Orellana y Sucumbíos respectivamente. El análisis es de tipo exploratorio para determinar y las condiciones físicas (no químicas) generales del agua usada para consumo humano y animal y mapear su distribución espacial.

Área de estudio

El estudio se desarrolló en las provincias Amazónicas ecuatorianas de Francisco de Orellana y Sucumbíos, en las parroquias de Pacayacu y La Joya de los Sachas (Figura 1). La elevación promedio

del área es de 260 metros sobre el nivel del mar y temperaturas que varían entre los 19° y los 30° C. La zona se caracteriza por un paisaje heterogéneo de usos del suelo, con una mezcla de producción comercial (e.g. palma africana) y de subsistencia. La zona ha sido severamente impactada por la explotación de petróleo que se inició en los años 60. La zona es conocida internacionalmente por los serios problemas ecológicos y de salud posiblemente asociados a la contaminación de petróleo.

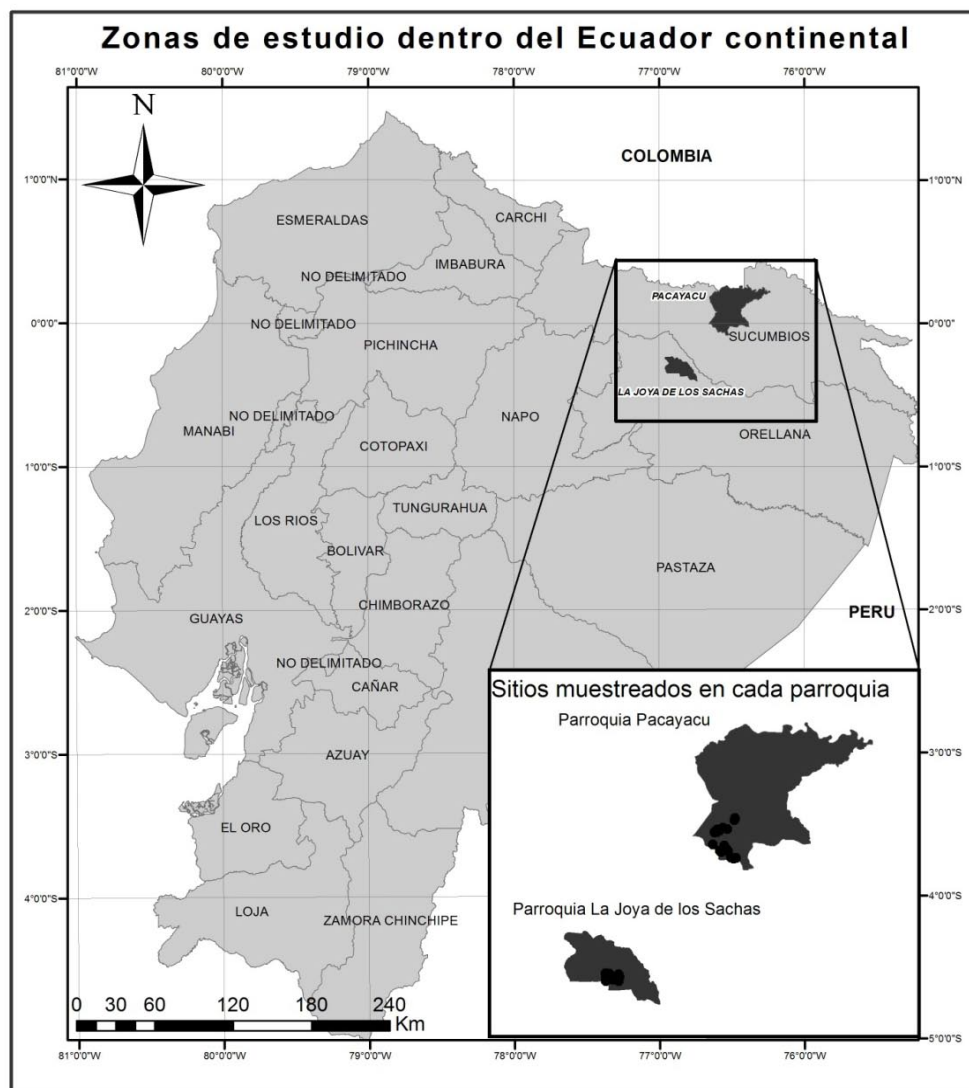


Figura 1: Parroquias de Pacayacu y La Joya de los Sachas donde se tomaron las muestras de agua

Métodos y datos

Los datos para este estudio se obtuvieron de 55 observaciones de agua de pozos familiares y comunitarios ($n=50$) y esteros ($n=5$) distribuidos en las micro-cuencas de los ríos Pacayacu y Sacha en la Provincia Amazónica de Francisco de Orellana, en Ecuador (Figura 1). Estos datos fueron

colectados durante una visita a la zona entre los días 29 de Agosto y 4 Septiembre del 2011. Los datos fueron colectados entre las 9:00 am y 4:00 pm del día.

Los datos que se colectaron fueron: temperatura, turbiedad, conductividad, pH y oxígeno disuelto (OD). El parámetro temperatura puede proveer información sobre los límites y propiedad de acuíferos superficiales pequeños como aquellos hallados en la Amazonía y asociados a ríos principales. El parámetro turbiedad provee información sobre la claridad del agua expresada en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU). Conductividad es una medida de la habilidad del agua de pasar energía eléctrica. En el agua, la conductividad se afecta por la presencia de sólidos disueltos como aniones de cloratos, nitratos, sulfatos, y fosfatos (iones que llevan carga negativa) o cationes de sodio, magnesio, calcio, hierro, aluminio (iones que llevan carga positiva). Compuestos orgánicos como petróleo o alcohol tienen un efecto muy pequeño en conductividad (EPA 1993).

Conductividad fue medida en unidades de micro-siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA en inglés) sugiere un estándar de entre 150-500 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (EPA 1993). PH se refiere al logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno. Un agua neutra tendrá valores próximos a 7. Valores inferiores o superiores a 7 están asociados con acidificación o alcalinidad del agua respectivamente. OD es un parámetro usado para medir la cantidad de oxígeno en el agua. Usualmente no se reporta OD para medir la calidad de agua para consumo humano, sin embargo, los niveles de OD están asociados con la presencia o ausencia de organismos biológicos en el agua. Generalmente se sugiere niveles no menores a 6 - 6.5 mg/l. La Tabla 1 muestra los estándares de parámetros físicos de calidad del agua dado por agencias de calidad ambiental internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la EPA de los EEUU, y nacionales como el INEC y establecidas en la legislación ecuatoriana (TULAS 2003).

Los instrumentos usados fueron: 1) un medidor YSI 58 para medir temperatura y OD, 2) un medidor Hach-2100P para medir turbiedad, 3) un medidor Cole Palmer para medir conductividad, y 4) un medidor Oakton PhTestr10 para medir el pH del agua. Las muestras fueron georeferenciadas usando una unidad receptora de GPS de marca Trimble en el sistema de coordenadas geográfico con datum WGS84. Las posiciones GPS no fueron diferencialmente corregidas pero se uso un promedio de 180 posiciones en cada localidad para aumentar la precisión relativa. Los datos de calidad de agua fueron procesados y mapeados dentro de un SIG para detectar patrones espaciales.

Resultados

El agua de pozos nos puede dar una idea clara sobre la usabilidad del agua para distintos propósitos. Los estándares de calidad de agua varían de acuerdo a la región o país pero hay lineamientos generales estipulados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para varios de

estos parámetros. La legislación ambiental ecuatoriana también presenta estándares de ciertos rangos permisibles para algunos de los parámetros comúnmente usados en análisis físico de calidad del agua. La Tabla 1 presenta un resumen de los estándares de calidad de agua fresca para algunos de estos parámetros dados por la OMS y la legislación ecuatoriana. La Tabla 2 presenta la evaluación global descriptiva estadística de los parámetros analizados en este estudio. La Tabla 3 presenta la evaluación local descriptiva estadística de los parámetros para la muestra de observaciones en la parroquia de Pacayacu. La Tabla 4 presenta la evaluación local descriptiva estadística de los datos de La Joya de los Sachas. Las Figuras 2-11 presentan los mapas de cada uno de los parámetros analizados en las dos zonas.

Tabla 1: Estándares de parámetros físicos comunes establecidos por agencias ambientales internacionales y nacionales

Parámetro	OMS/ EPA	TULAS Ecuatoriana/ INEC
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Se recomienda como máximo entre 250 y 500	No se menciona
Oxígeno Disuelto (OD)(mg/l)	> 6.5	>6
PH	6.5-8.5	6.5-8.5
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	No hay valor reportado pero se sugiere baja	< 20 $^{\circ}$
Turbiedad (NTU)	<5	<5

Tabla 2: Estadísticas descriptivas de los datos de calidad de agua en la zona total de estudio.

	Min	Max	Media	Error Std.	Desviación Std.	Varianza
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	7.72	551.00	102.28	12.45	92.34	8527.48
Oxígeno Disuelto)(mg/l)	0.43	3.73	1.99	0.11	0.83	0.68
PH	4.10	8.20	5.73	0.12	0.86	0.74
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	22.40	30.20	26.64	0.24	1.79	3.22
Turbiedad (NTU)	0.34	411.00	22.47	7.74	57.42	3297.04

N= 55

Tabla 3: Estadísticas descriptivas de los datos de calidad de agua en la parroquia de Pacayacu.

	Min	Max	Media	Error Std.	Desviación Std.	Varianza
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	7.72	551.00	101.41	25.74	131.24	17222.90
Oxígeno Disuelto)(mg/l)	0.43	2.87	1.73	0.16	0.81	0.65
PH	4.60	8.20	5.98	0.19	0.97	0.93
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	22.40	28.87	25.78	0.39	1.97	3.88
Turbiedad (NTU)	1.70	411.00	36.13	15.62	79.65	6344.70

N= 26

Tabla 4: Estadísticas descriptivas de los datos de calidad de agua en la parroquia de La Joya de los Sachas.

	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Media</i>	<i>Error Std.</i>	<i>Desviación Std.</i>	<i>Varianza</i>
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	57.80	163.13	103.06	6.07	32.66	1066.93
Oxígeno Disuelto)(mg/l)	0.73	3.73	2.23	0.15	0.78	0.62
PH	4.10	6.90	5.49	0.13	0.69	0.48
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	25.90	30.20	27.42	0.22	1.20	1.43
Turbiedad (NTU)	0.34	89.87	10.21	3.55	19.10	364.85

N= 28

Discusión

El objetivo primario de este estudio preliminar sobre calidad de agua en las dos parroquias orientales es establecer una base de información inicial que justifique un análisis más detallado del agua en la zona a futuro. La caracterización espacial descriptiva indica que en cuanto a temperatura del agua, las muestra de Pacayacu es significativamente más fría que en Sacha (Figura 3) (Tabla 5). La temperatura del agua en los sitios muestreados aumenta con la cercanía al Río Aguarico. Ambas zonas tienen niveles por encima de los niveles recomendados para agua de fuentes naturales. Sin embargo, el parámetro de temperatura no establece si el agua es o no apta para consumo.

Los niveles de pH en general están fuera de los niveles recomendados. Es importante recordar que los valores de pH se basan en una escala logarítmica, cada cambio en una unidad en pH representa un factor de cambio de 10 en acidez. Por ejemplo, un agua con pH de 5.0 es 10 veces más ácida que un agua de pH de 6.0. Sin comparamos entonces el pH del agua en la zona con los estándares, el agua de los sitios observados es aproximadamente 8 veces más ácida que lo recomendado. Sin comparamos el agua de Pacayacu con la de Sacha, el agua de Sacha es aproximadamente 5 veces más ácida que el agua de Pacayacu. La acidez del agua puede estar asociada con la presencia de metales pesados como hierro, manganeso, cobre, plomo, y zinc. En otras palabras, aguas ácidas contienen niveles elevados de metales tóxicos que pueden causar problemas en la salud (EPA 1993). El mapa de pH de Pacayacu indica que la acidez del agua aumenta con la distancia al Río Aguarico (Figura 4).

La conductividad eléctrica del agua (un indicador indirecto de la cantidad total de sólidos disueltos en el agua) está bajo los estándares recomendados a nivel internacional. Interesantemente, el mapa de conductividad de Pacayacu muestra que la conductividad aumenta con la cercanía al Río Aguarico (Figura 6).

El nivel medio de OD en el agua está muy por debajo de los estándares recomendados. Localmente, el nivel de OD en el agua en la zona de Pacayacu (OD = 1.73) es significativamente menor al nivel promedio en Sacha (OD = 2.23) (Tabla 5). La cantidad de OD puede ser un indicador de la cantidad de bacterias o animales acuáticos en el área (WHO, 2004). Cuando hay una sobrepoblación de bacteria, por ejemplo, esta puede causar una reducción significativa de OD.

Por último, los niveles de turbiedad del agua están muy por encima de los estándares de calidad (aproximadamente 18 unidades por encima del máximo recomendado). El agua de la zona de Pacayacu es aproximadamente 3 veces más turbia que el agua de Sacha. Cuando el agua es turbia, es más difícil desinfectarla con propósitos de potabilización. El agua turbia inhibe los efectos bactericidas de agentes como el cloro (Fetter, 1999). El agua turbia generalmente contiene mayor nivel de sólidos en suspensión que ayudan a la fijación de metales pesados y otros compuestos tóxicos como petróleo y pesticidas.

Tabla 5: Resultados del análisis T de las medias de ambos sectores.

		<i>Test F de las varianzas</i>		<i>Test T de igualdad de medias</i>					
		<i>F</i>	<i>Sig.</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>Sig. (2- colas)</i>	<i>Diferencia meida</i>	<i>Diferencia del error estándar</i>	
Temperatura (°C)	Se asume varianzas iguales	15.734	0.000	3.765	53.000	0.000	1.635	0.434	**
	No se asume varianzas iguales			3.670	40.357	0.001	1.635	0.446	
Turbiedad (NTU)	Se asume varianzas iguales	3.880	0.054	-1.700	53.000	0.095	-25.915	15.244	
	No se asume varianzas iguales			-1.618	27.579	0.117	-25.915	16.019	
Conductividad (µS/cm)	Se asume varianzas iguales	7.813	0.007	0.066	53.000	0.948	1.649	25.174	
	No se asume varianzas iguales			0.062	27.778	0.951	1.649	26.443	
pH	Se asume varianzas iguales	3.840	0.055	-0.947	53.000	0.348	-345.473	364.698	
	No se asume varianzas iguales			-1.001	28.000	0.325	-345.473	344.983	
OD (mg/l)	Se asume varianzas iguales	0.801	0.375	2.293	53.000	0.026	0.492	0.215	**
	No se asume varianzas iguales			2.290	52.011	0.026	0.492	0.215	
	Significativamente diferentes al nivel 0.05 de significancia								

Conclusión

A pesar de no existir estándares de calidad para dos de los parámetros físicos analizados en este estudio (temperatura y conductividad) por su efecto mínimo en la salud humana, podemos concluir que en general el agua de los sitios muestreados en Pacayacu y Sacha están muy por afuera

de los estándares recomendados para OD, turbiedad y pH. En general el nivel de OD del agua es muy bajo, la turbiedad muy alta, y el pH es ácido. Estos resultados indican que la calidad del agua de la zona es pobre. Los niveles de estos parámetros, especialmente turbiedad y pH, podrían estar asociados con la presencia de metales pesados y otros compuestos tóxicos orgánicos. Es recomendable proseguir con una segunda fase para medir el contenido de tóxicos orgánicos e inorgánicos en los mismos sitios donde se tomaron las muestras. De igual manera, el análisis de los mapas de pH, conductividad, y temperatura para la zona de Pacayacu sugiere la existencia de ciertos patrones espaciales que merecen un análisis más detallado y exhaustivo sobre el contexto espacial. Un SIG puede proveer el marco ideal no solamente para este tipo de análisis y sino para desarrollar un verdadero sistema de soporte de decisiones que podría ayudar a enfocar los recursos disponibles.

Referencias

- Engel, B. A., & Navulur, K. C. S. (1999). The role of geographical information systems in groundwater engineering. In J. W. Delleur (Ed.), *The handbook of groundwater engineering* (pp. 21, 1–16). Boca Raton: CRC.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1993). Wellhead protection: a guide for small communities. Office of research and development office of water. Washington DC., EPA/625/R-93/002, 144 p.
- Fetter, C. W. (1999). *Contaminant hydrogeology* (p. 500). USA: Prentice Hall.
- Ministerio del Ambiente de la Republica del Ecuador, 2003: Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Ecuador.
- Nas, B., & Berkay, A. (2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental Monitoring Assessment* 160: 215-227.
- Nas, B., & Berkay, A. (2006). Groundwater contamination by nitrates in the City of Konya, (Turkey): A GIS perspective. *Journal of Environmental Management*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.05.010>
- WHO (World Health Organization) (2004). *Guidelines for drinking water quality*, third edition. Geneva: WHO.

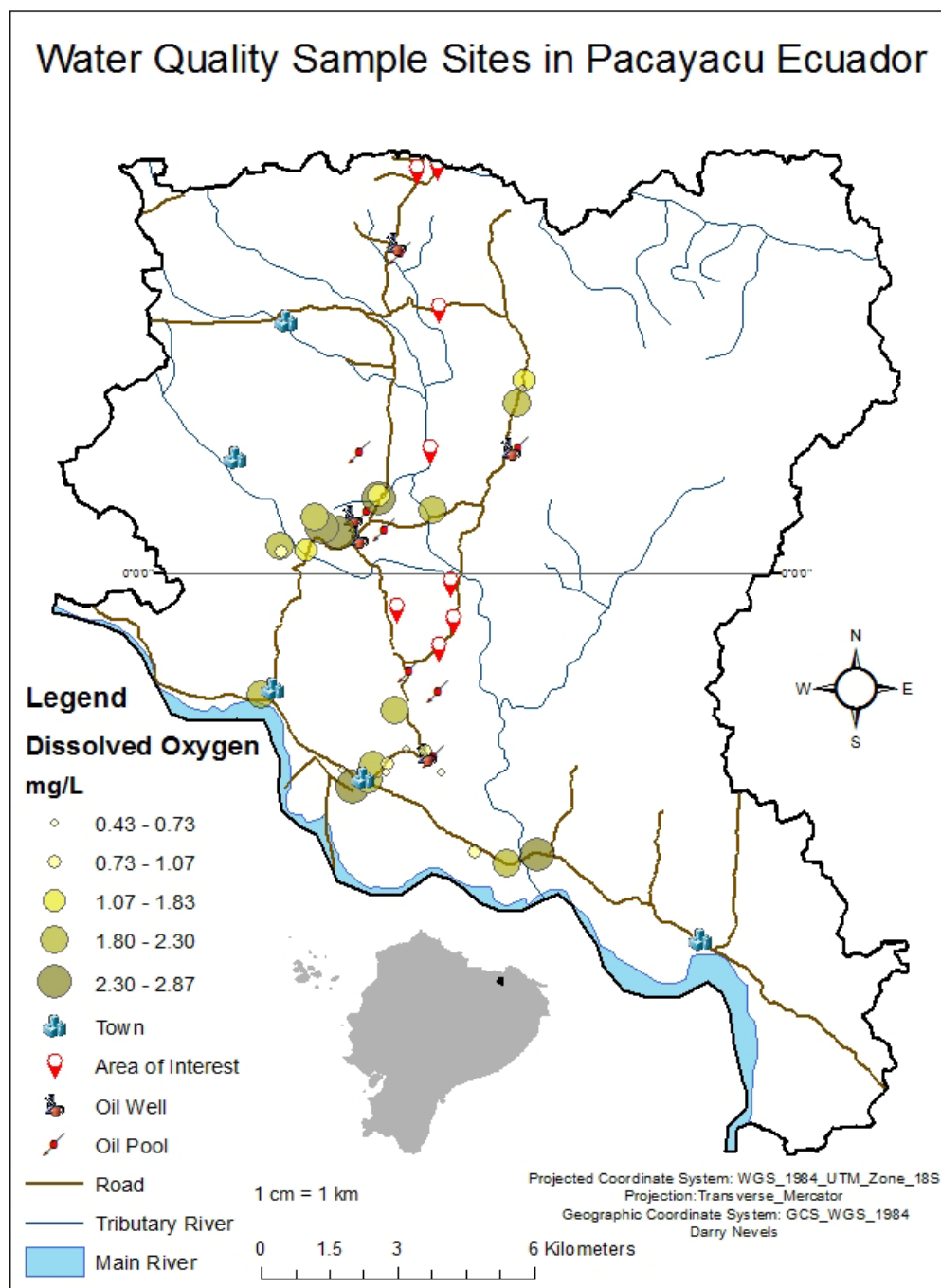


Figure 2: Oxígeno disuelto - Pacayacu

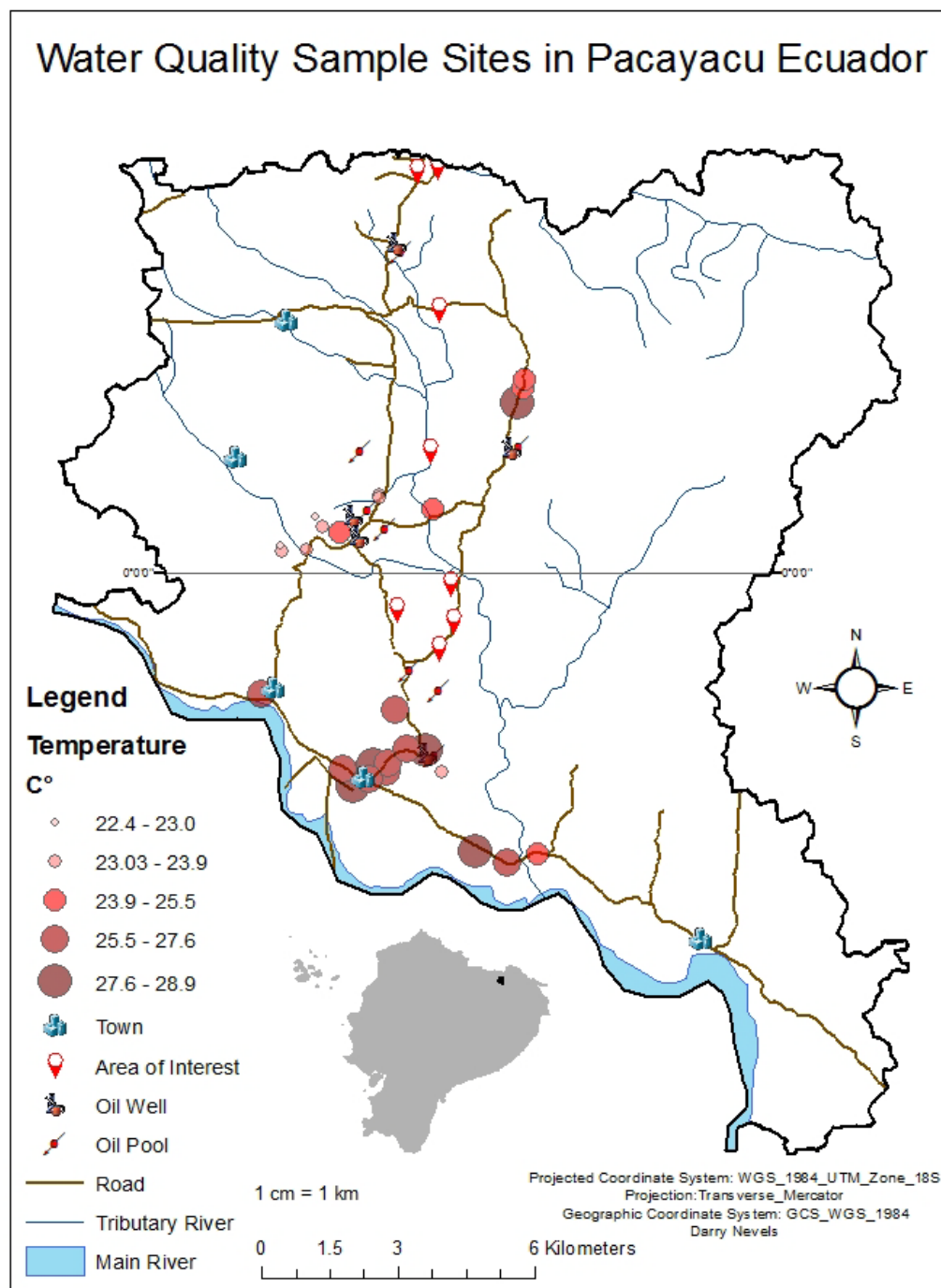


Figure 3: Temperatura - Pacayacu

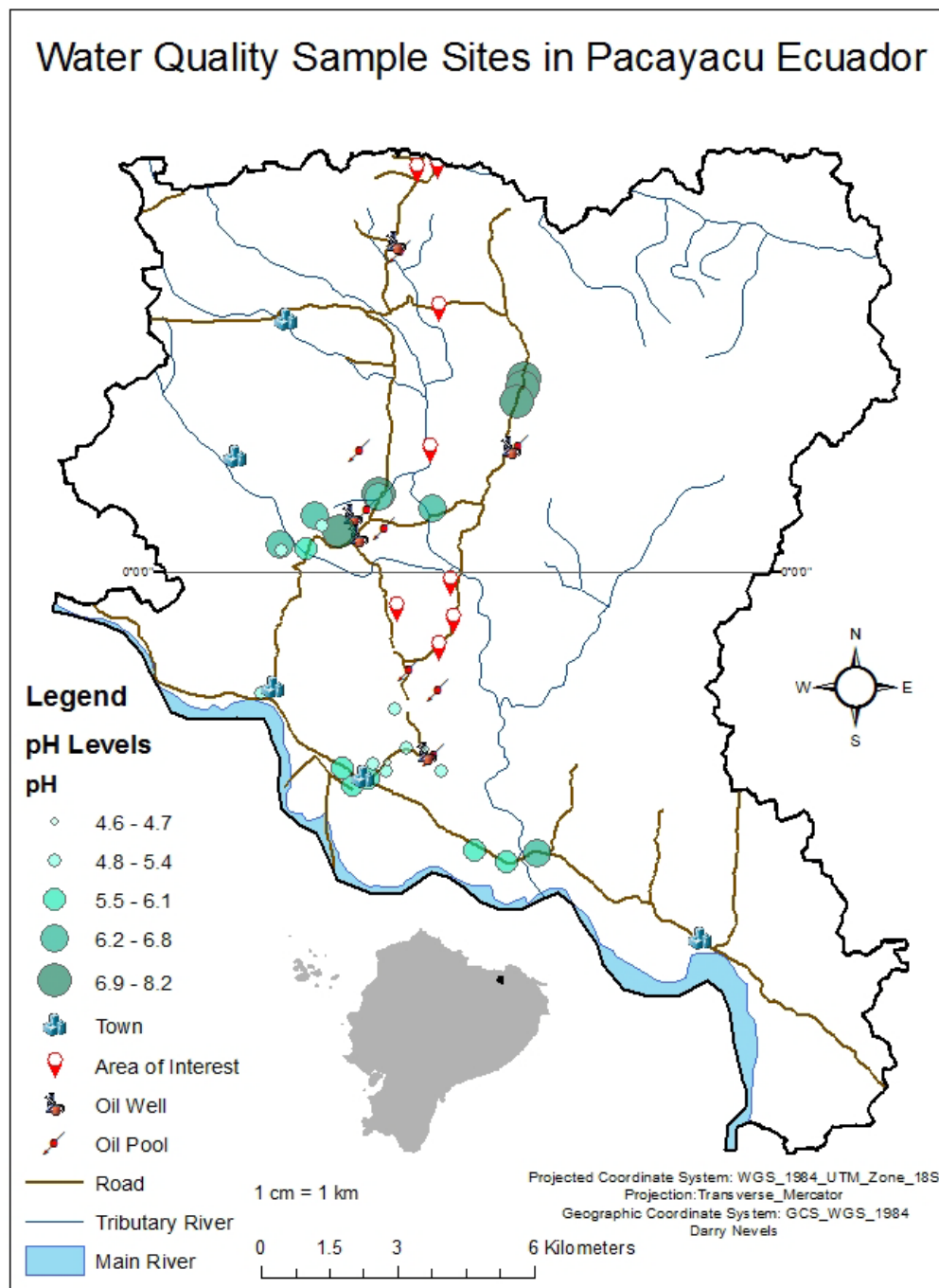


Figure 4: pH - Pacayacu

Water Quality Sample Sites in Pacayacu Ecuador

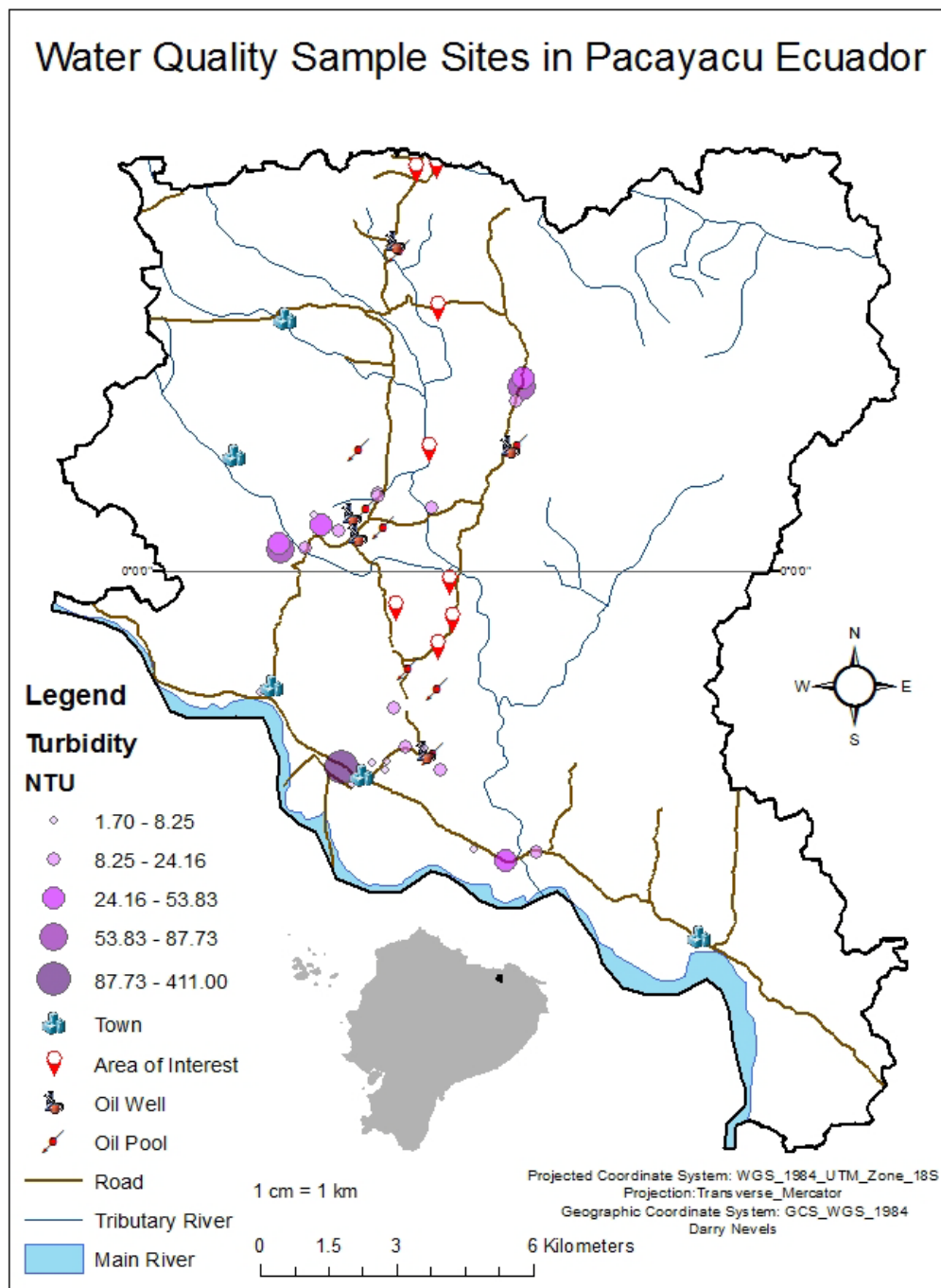


Figure 5: Turbiedad- Pacayacu

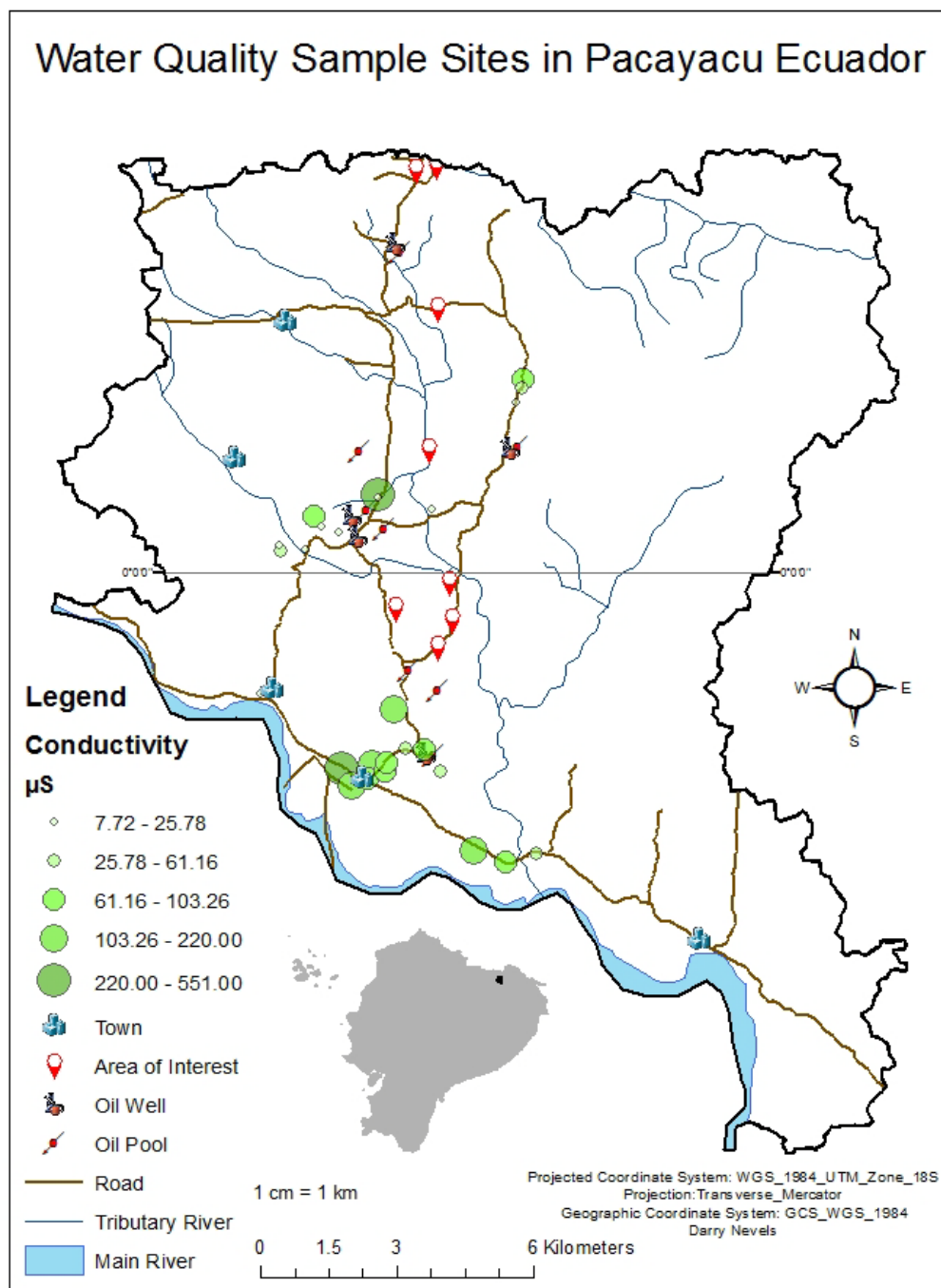


Figure 6: Conductividad- Pacayacu

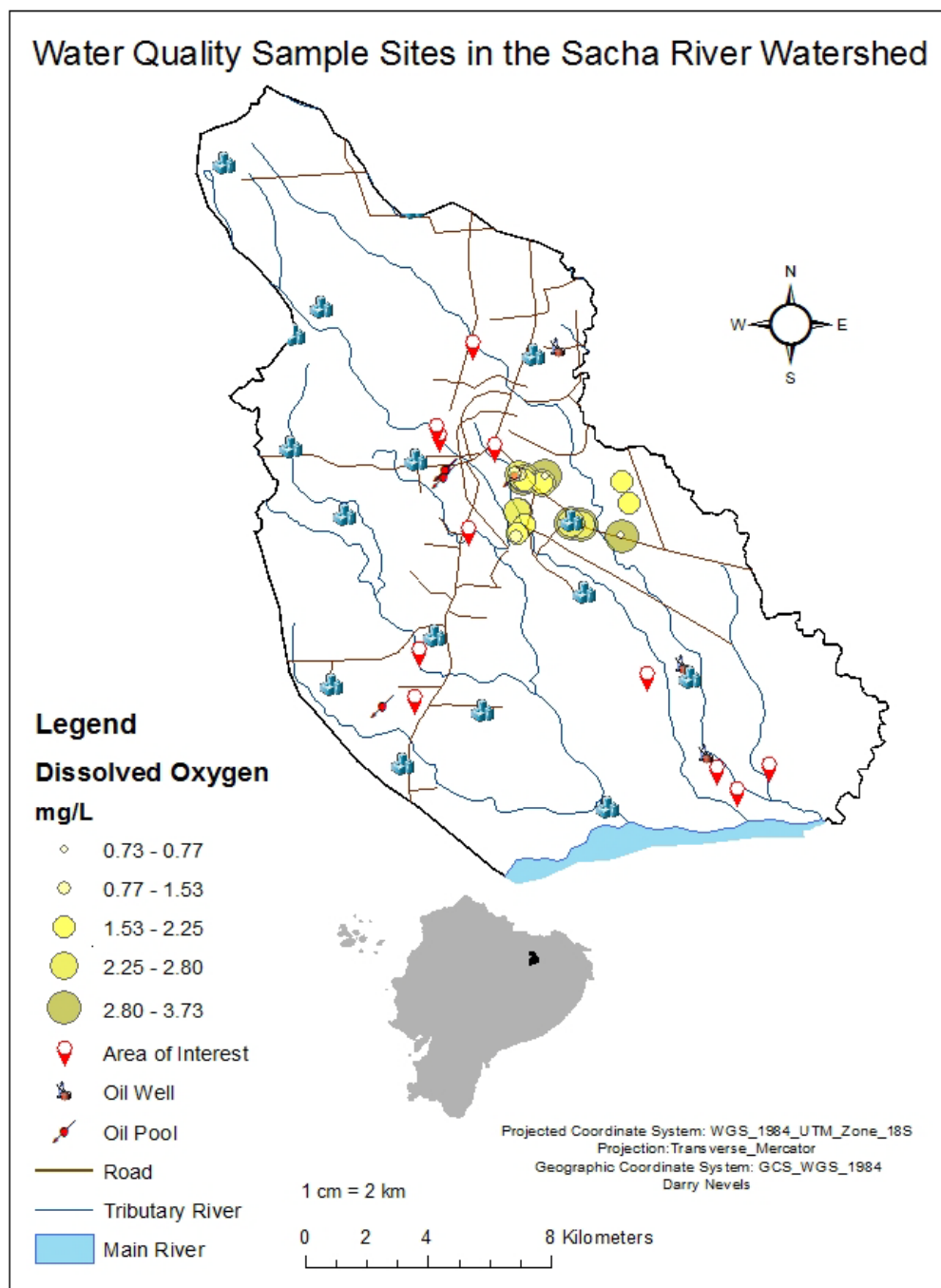


Figure 7: Oxígeno disuelto - Sacha

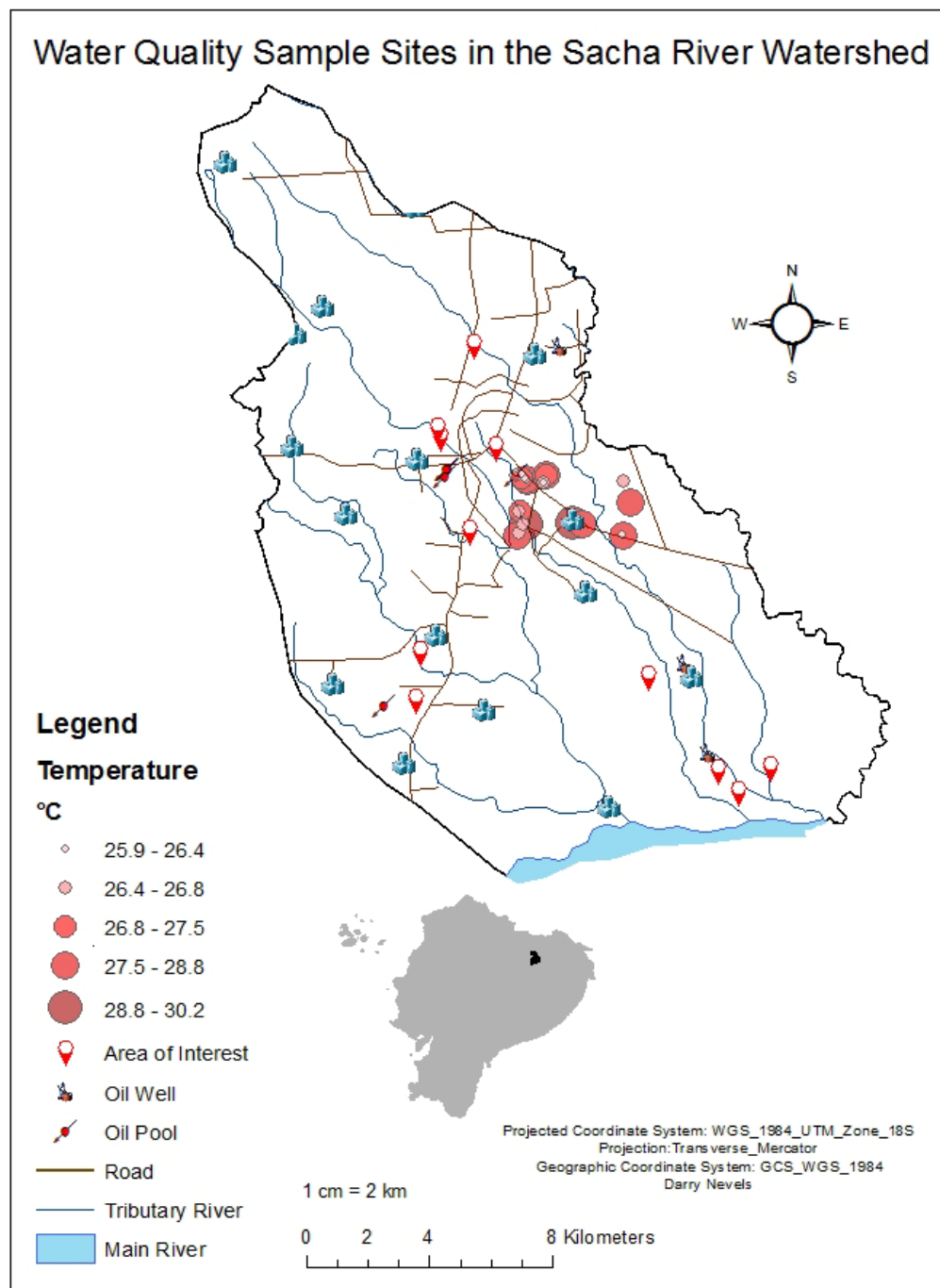


Figure 8: Temperatura - Sacha

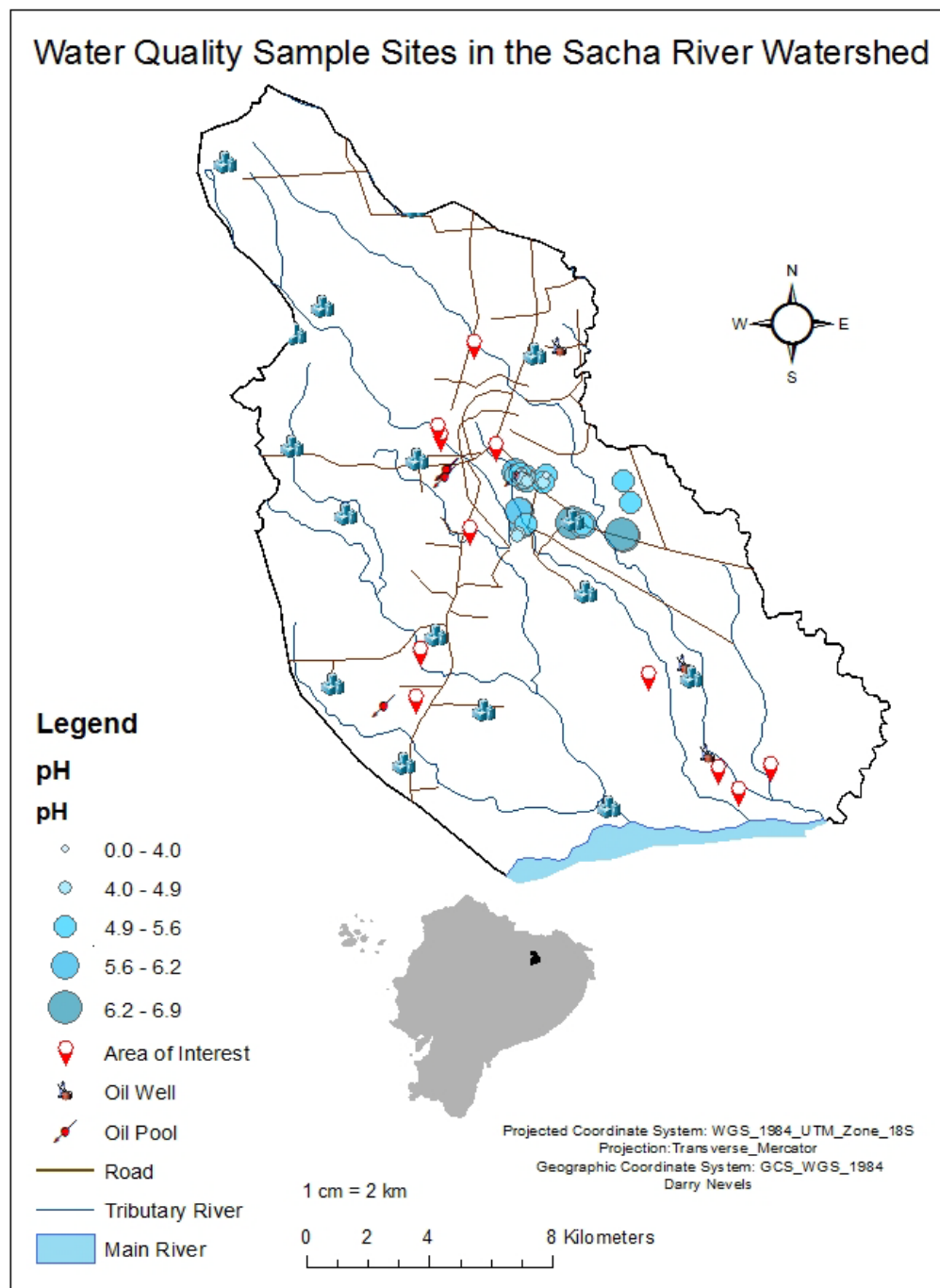


Figure 9: pH - Sacha

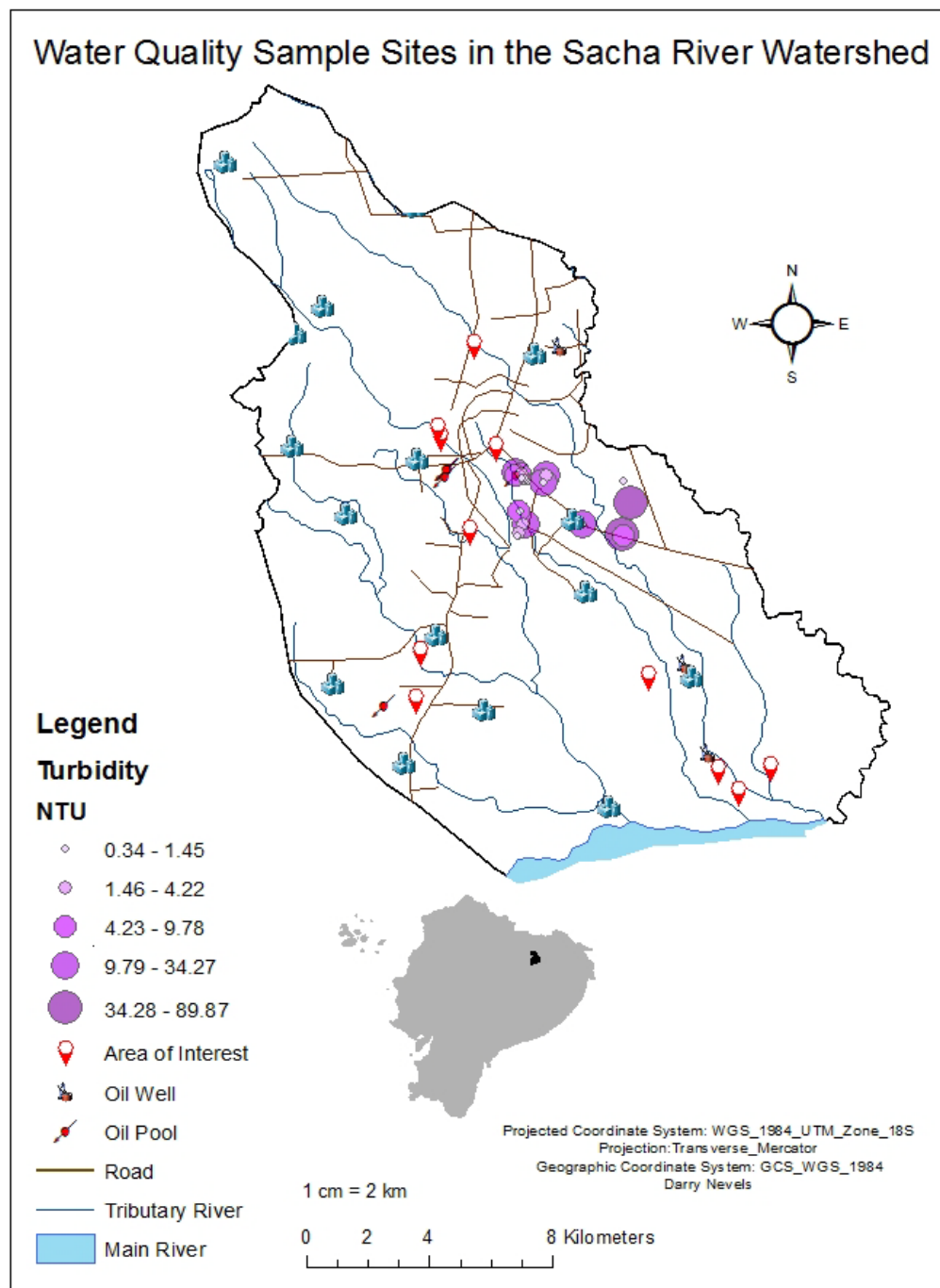


Figure 10: Turbiedad - Sacha

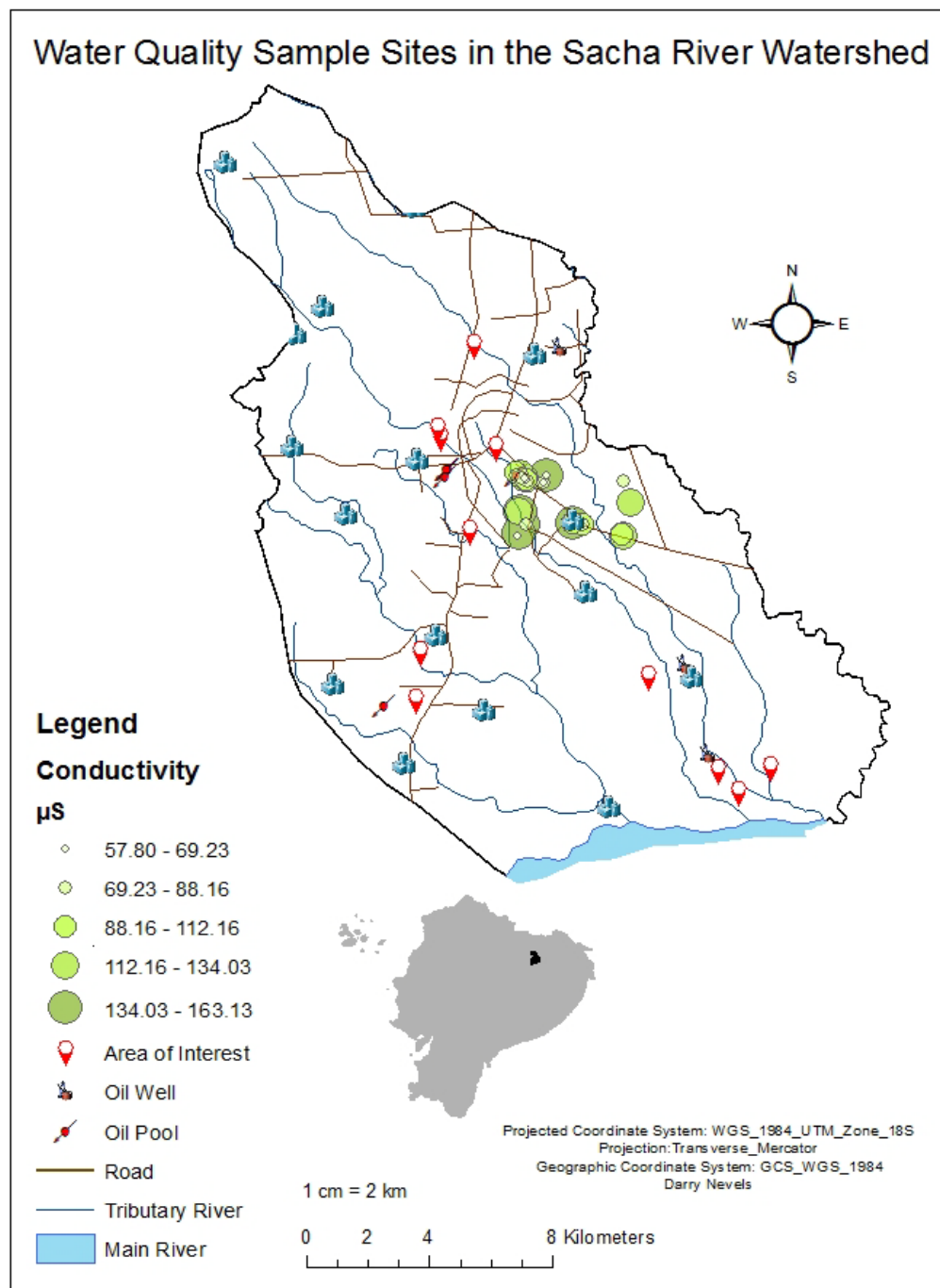


Figure 11: Conductividad – Sacha

APENDICE

TABLA DE DATOS: Sacha

FECHA	LAT	LONG	TEMP	OD(%)	TURB	COND	pH	OD(mg/l)	
30-Aug-11	-0.331470	-76.860080	26.13	15.00	14.70	112.17	6.10	1.21	Sacha
30-Aug-11	-0.332100	-76.860370	26.73	18.00	7.75	76.13	5.50	1.44	Sacha
30-Aug-11	-0.331730	-76.858890	26.27	30.47	9.78	116.87	5.13	2.42	Sacha
30-Aug-11	-0.331990	-76.858620	25.90	19.17	2.38	88.17	4.87	1.53	Sacha
30-Aug-11	-0.333280	-76.858340	27.07	28.37	0.34	75.07	4.67	2.25	Sacha
30-Aug-11	-0.342996	-76.859115	27.50	31.90	0.89	160.60	6.03	2.53	Sacha
30-Aug-11	-0.342827	-76.859252	26.47	30.33	6.25	120.50	5.83	2.4	Sacha
30-Aug-11	-0.346987	-76.858184	26.63	30.97	4.22	161.20	6.13	2.45	Sacha
30-Aug-11	-0.349340	-76.859164	26.80	26.20	2.63	143.47	4.97	2.08	Sacha
30-Aug-11	-0.350086	-76.859588	28.30	18.03	1.07	69.23	4.70	1.45	Sacha
30-Aug-11	-0.346788	-76.857420	29.37	28.07	17.53	77.37	5.13	2.23	Sacha
30-Aug-11	-0.334008	-76.828965	26.80	23.53	1.38	87.27	5.57	1.87	Sacha
30-Aug-11	-0.340555	-76.826809	28.80	25.93	51.47	118.67	5.20	1.84	Sacha
31-Aug-11	-0.333110	-76.857660	26.03	28.37	0.41	60.03	6.20	2.4	Sacha
31-Aug-11	-0.333720	-76.857150	26.20	21.93	0.48	64.80	5.30	1.73	Sacha
31-Aug-11	-0.334190	-76.856780	28.67	25.50	0.56	75.67	5.30	1.93	Sacha
31-Aug-11	-0.334610	-76.852340	26.73	28.17	1.45	65.30	5.30	2.67	Sacha
31-Aug-11	-0.332210	-76.851510	27.90	9.87	17.20	57.80	n/a	0.73	Sacha
31-Aug-11	-0.346430	-76.843540	29.20	37.20	0.71	107.50	6.50	2.77	Sacha
31-Aug-11	-0.346890	-76.840800	28.37	44.37	0.78	109.17	5.90	3.37	Sacha
31-Aug-11	-0.349800	-76.829340	26.17	9.99	89.87	109.43	6.60	0.77	Sacha
31-Aug-11	-0.333079	-76.857673	26.07	46.17	2.45	134.03	5.20	3.5	Sacha
31-Aug-11	-0.333681	-76.857168	27.93	26.13	0.52	101.50	4.80	1.97	Sacha
31-Aug-11	-0.333974	-76.856918	28.33	25.47	1.30	103.80	4.50	1.93	Sacha
31-Aug-11	-0.334589	-76.852333	26.40	22.17	14.54	76.50	4.10	1.77	Sacha
31-Aug-11	-0.332209	-76.851506	27.13	47.60	2.17	163.13	5.60	3.73	Sacha
31-Aug-11	-0.346452	-76.843556	30.20	49.23	1.07	158.23	6.40	3.67	Sacha
31-Aug-11	-0.346864	-76.840805	28.23	31.33	34.27	76.03	5.40	2.8	Sacha

TABLA DE DATOS: Pacayacu

FECHA	LAT	LONG	TEMP	OD(%)	TURB	COND	pH	OD(mg/l)	
1-Sep-11	0.004240	-76.604220	23.50	13.00	77.03	34.57	5.20	1.07	Pacay
1-Sep-11	0.004540	-76.599280	23.37	21.57	10.80	14.46	5.70	1.83	Pacay
1-Sep-11	0.009100	-76.596210	23.67	33.30	38.73	7.72	5.20	2.73	Pacay
1-Sep-11	0.015440	-76.584990	23.63	20.13	24.17	468.33	7.30	1.63	Pacay
1-Sep-11	0.033860	-76.557750	28.20	26.67	18.80	12.84	7.20	2.03	Pacay
1-Sep-11	0.007990	-76.592720	24.83	35.00	10.37	19.43	7.60	2.87	Pacay
1-Sep-11	0.005353	-76.604470	22.40	26.83	33.20	17.30	6.30	2.3	Pacay
1-Sep-11	0.011179	-76.597633	23.03	23.80	1.96	92.93	6.80	2.3	Pacay
1-Sep-11	0.014893	-76.584901	23.63	31.47	19.30	25.78	6.60	2.63	Pacay
1-Sep-11	0.012635	-76.574342	25.47	28.00	11.03	20.28	6.40	2.27	Pacay
1-Sep-11	0.036864	-76.556470	25.10	6.50	87.73	61.17	7.40	0.47	Pacay
1-Sep-11	0.038591	-76.556126	24.40	17.57	38.90	103.27	8.20	1.43	Pacay
2-Sep-11	-0.027456	-76.581697	27.47	28.77	12.60	134.80	5.10	2.2	Pacay
2-Sep-11	-0.035622	-76.575794	28.20	13.60	2.29	76.30	4.60	1	Pacay
2-Sep-11	-0.038374	-76.583169	27.40	11.50	1.99	72.60	4.70	0.87	Pacay
2-Sep-11	-0.038497	-76.586228	27.93	28.77	3.75	144.97	5.40	2.17	Pacay
2-Sep-11	-0.042792	-76.589968	28.87	35.03	8.25	138.47	6.10	2.67	Pacay
2-Sep-11	-0.058064	-76.559608	26.63	28.50	53.83	92.70	5.80	2.23	Pacay
2-Sep-11	-0.055905	-76.565881	28.00	10.20	1.70	220.00	5.80	0.8	Pacay
2-Sep-11	-0.039930	-76.572650	23.90	8.33	16.50	42.33	5.10	0.67	Pacay
2-Sep-11	-0.035490	-76.579510	26.80	9.90	12.67	52.07	5.30	0.73	Pacay
2-Sep-11	-0.039930	-76.583580	27.63	8.93	2.54	75.70	5.00	0.67	Pacay
2-Sep-11	-0.041380	-76.587090	27.20	28.17	11.40	101.43	5.60	2.2	Pacay
2-Sep-11	-0.039430	-76.592090	26.70	5.80	411.00	551.00	5.90	0.43	Pacay
2-Sep-11	-0.056380	-76.553700	25.23	33.10	21.27	32.90	6.20	2.67	Pacay
2-Sep-11	-0.024497	-76.608299	27.10	28.70	7.56	23.30	5.10	2.22	Pacay