

Viscosity and viscometric properties of Glycine in aqueous solutions of Sodium Thiosulfate Pentahydrate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) at different temperatures

Manuel Silvestre Páez-Meza ^a, Gustavo Manuel Alvarino-Bettín ^b & Plinio de los Santos Cantero-López ^a

^a Grupo de Físicoquímica de Mezclas Líquidas, Universidad de Córdoba, Colombia. mspaezm@unal.edu.co, mspaezm@gmail.com

^b Grupo Física Teórica y Aplicada, Universidad de Córdoba, Colombia. alvarinog@hotmail.com

^a Grupo de Físicoquímica de Mezclas Líquidas, Universidad de Córdoba, Colombia. pliniocantero@gmail.com

Received: September 23th, 2013. Received in revised form: April 21th, 2014. Accepted: Julio 25th, 2014.

Abstract

Flowing times of Glycine in aqueous solutions Sodium Thiosulfate Pentahydrate (0.01-2.0 mol kg⁻¹) using an AMVn Anton Paar viscometer at temperatures of (283.15; 288.15; 293.15; 298.15; 303.15; 308.15, 313.15 and 318.15) K and 101.1 Kpa. From the data obtained, the absolute viscosity, viscosity B-coefficients, slope (dB/dT), the ΔB_{tr} , adjustable parameters of the equation of Out and Los (B_E, B_S, K), activation parameters of viscous flow ($\Delta G^\ddagger, \Delta H^\ddagger, \Delta S^\ddagger$) were calculated, the values obtained for these parameters were discussed in terms of the interactions present in solution.

Keywords: Viscosity; Activation parameters; Viscous flow; Excess properties; Interactions.

Viscosidades y propiedades viscosimetricas de la Glicina en soluciones acuosas de Tiosulfato de Sodio Pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) a diferentes temperaturas

Resumen

Se determinaron los tiempos de flujo de la Glicina en soluciones acuosas de Tiosulfato de Sodio Pentahidratado (0.01-2.0 mol Kg⁻¹) usando un viscosímetro Anton Paar modelo AMVn a las temperaturas de (283.15; 288.15; 293.15; 298.15; 303.15; 308.15, 313.15 y 318.15) K y 101.1 Kpa. A partir de los datos obtenidos se calcularon las viscosidades absolutas, los coeficientes B de viscosidad, la pendiente (dB/dT), el ΔB_{tr} , los parámetros ajustables de la ecuación de Out y Los (B_E, B_S, K), los parámetros de activación del flujo viscoso ($\Delta G^\ddagger, \Delta H^\ddagger, \Delta S^\ddagger$), los valores obtenidos para estos parámetros fueron discutidos en términos de las interacciones presentes en solución.

Palabras clave: Viscosidad; Parámetros de activación; Flujo viscoso; Interacciones.

1. Introducción

La viscosidad es una propiedad de transporte que es importante tanto desde el punto de vista teórico como práctico. Es por ello que estudios sistemáticos de las propiedades físicas de mezclas líquidas multicomponentes sean requeridos para permitir un mejor conocimiento de la teoría del estado líquido. En este sentido, la viscosidad de soluciones de electrolitos es de gran interés a nivel científico debido a que las variaciones de la viscosidad con la temperatura y la composición del disolvente permiten

tener una mayor comprensión de las interacciones ión-solvente en los sistemas de electrolitos, de igual forma a nivel ingenieril la viscosidad de electrolitos tiene un rol sumamente relevante debido a su importancia en numerosos sistemas industriales entre los cuales se destacan los procesos electroquímicos así como cálculos de ingeniería química relacionados con el flujo de fluidos, transferencia de calor y masa [1,2].

En este orden de ideas, el estudio de una propiedad termofísica como la viscosidad en sistemas de aminoácidos en solventes mixtos resulta interesante debido a que este tipo de

sistemas constituye un modelo apropiado para el estudio de las interacciones en péptidos y proteína-solvente que son esenciales en el estudio de diversos procesos biológicos[3,4]. En este sentido en macromoléculas como las proteínas propiedades como la estabilidad conformacional, solubilidad, actividad enzimática, disociación en subunidades, desnaturalización, separación y purificación son claramente influenciadas por diversas interacciones moleculares entre los grupos funcionales presentes que son direccionados por factores como la temperatura, presencia de sustancias de bajo peso molecular como sustratos, coenzimas, inhibidores y activadores que específicamente ligan a la estructura nativa y el medio en el cual se encuentran disueltas[5,6].

Es ampliamente conocido que uno de los medios que ejerce grandes efectos sobre las propiedades anteriormente mencionadas son las soluciones salinas [5,7]. Es así como se ha establecido claramente que iones de metales juegan un papel crucial en los procesos celulares los cuales involucran la participación de proteínas transmembrana como es el caso de la bomba de sodio y potasio en donde estos dos iones participan en el balance osmótico y el mantenimiento del volumen celular [8-10]. Por tal motivo, en este trabajo se reportan las viscosidades de la (η) de la Glicina (Gli) en diferentes molalidades de Tiosulfato de Sodio Pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) a una presión atmosférica de 101.1 Kpa a las temperaturas de (283.15; 288.15; 293.15; 298.15, 303.15; 308.15 313.15 y 318.15) K. Los valores experimentales de η se usaron para calcular los, coeficientes B de viscosidad, la pendiente (dB/dT), el ΔB_{tr} , los parámetros ajustables de la ecuación de Out y Los (B_E, B_S, K), los parámetros de activación del flujo viscoso ($\Delta G^{\ddagger}, \Delta H^{\ddagger}, \Delta S^{\ddagger}$) así como las contribuciones por mol del solvente $\Delta\mu_1^{\ddagger}$ y del soluto $\Delta\mu_2^{\ddagger}$ a la energía libre, los valores obtenidos para estos parámetros fueron discutidos en términos de las interacciones presentes en solución.

2. Parte Experimental

Los reactivos empleados son los siguientes: Glicina (99% de pureza, Alfa Aesar), Tiosulfato de Sodio Pentahidratado (99% de pureza, Merck) la Glicina fue doblemente recristalizada desde soluciones acuosas de etanol y secada al vacío sobre P_2O_5 . El agua usada fue desgasificada, doblemente destilada y desionizada garantizando una conductividad menor de $2 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Las soluciones fueron preparadas gravimétricamente mediante una balanza (OHAUS modelo Explorer) con una sensibilidad de $\pm 1 \times 10^{-4}$ g, en botellas herméticamente cerradas para evitar pérdida por evaporación de alguno de los componentes.

Las medidas de la viscosidad absoluta fueron hechas con un viscosímetro Anton Paar modelo AMVn. El principio de medición de este equipo se basa en la ley de Stoke. Así, la viscosidad de líquidos puros y su composición es determinada observando el tiempo requerido para que una esfera sólida (acero), recorra una distancia fija entre los dos sensores inductivos en un tubo cilíndrico inclinado que contiene la muestra. El viscosímetro arroja los tiempos de flujo y calcula automáticamente la viscosidad absoluta previa Tabla 1.

incorporación de la densidad de la muestra las cuales fueron obtenidas previamente utilizando un densímetro de tubo vibratorio Anton Paar modelo DMA 5000. Así es posible tomar medidas en un amplio intervalo de viscosidad con una exactitud de $\pm 0.01\text{K}$, garantizada mediante un termostato tipo Peltier. La incertidumbre absoluta en los datos de viscosidad ($\Delta\eta$) fue calculada usando el método de propagación de errores usando la ecuación (1):

$$\Delta\eta = \eta \left[\frac{\Delta K}{K} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta\rho_k}{(\rho_k - \rho_p)} \right] \quad (1)$$

Donde ΔK es la incertidumbre en la constante de calibración K, t es el tiempo de flujo, $\Delta\rho_k$ (0.01 g/cm^3) es la incertidumbre en la densidad de la bola (7.66 g/cm^3), ρ_p es la densidad de la solución. La incertidumbre promedio en la viscosidad es del orden $\pm 0.001 \text{ m Pa s}$.

3. Resultados y Discusión

Las viscosidades (η) obtenidas en este trabajo desde 283.15K hasta 318.15K para las diferentes concentraciones de Glicina y Tiosulfato de Sodio Pentahidratado se muestran en la Tabla 1. En la Tabla 1, se observa que los valores de viscosidad (η) aumentan con el aumento de la concentración de Glicina y con el aumento de la composición del solvente mixto y disminuyen con el aumento de la temperatura.

Las viscosidades relativas (η_r) de la Glicina en agua y en las soluciones del solvente mixto fueron calculadas usando la ecuación (1)

$$\eta_r = \eta/\eta_0 \quad (2)$$

Donde η es la viscosidad de la solución y η_0 es la viscosidad del solvente mixto. Los datos de viscosidad relativa fueron analizados utilizando la ecuación de Jones-Doles (3)

$$\eta_r = 1 + Am^{1/2} + Bm \quad (3)$$

Donde A es el coeficiente de Falkenhagen que ofrece información sobre las interacciones soluto-soluto, B es un coeficiente empírico es una medida de las interacciones soluto-solvente y depende fundamentalmente del tamaño, la forma y la carga del soluto[11,12]. No obstante, la gran mayoría de los estudios viscosimétricos [13-16] en soluciones de electrolitos han centrado su interés en obtener solo información de las interacciones soluto-solvente en mezclas pseudobinarias en vez de las interacciones soluto-soluto utilizando la expresión (3) en la forma:

$$\eta_r = 1 + Bm \quad (4)$$

En este trabajo, los valores del coeficiente B fueron calculados a partir de la ecuación (4), debido a que la región de composición en estudio no es altamente diluida [12,16]; y son reportados en la Tabla 2.

de estudio, lo que sugiere que en el sistema se favorecen las interacciones soluto-solvente, que podrían ser clasificadas de la siguiente forma [17,18]:

- a) Interacciones Ión – Ión entre el ión Na⁺ del solvente mixto y el grupo COO⁻ de la Glicina.
- b) Interacciones Ión – Ión entre el ión S₂O₃²⁻ y el grupo NH₃⁺ de la Glicina.

La dependencia del coeficiente B con respecto a la temperatura fue expresada usando la ecuación de Out y Los [2]

$$B = B_E + B_S \exp(-K(T - T_0)) \quad (5)$$

Donde B_E, B_S, K son parámetros ajustables, T es la temperatura en Kelvin, T₀ = 273.15 K. Los valores de B_E, B_S y K para cada una de las composiciones en estudio son presentados en la Tabla 4 junto con su respectiva desviación estándar poblacional (σ).

Adicionalmente se calcularon los valores de dB/dT y son reportados en la Tabla 3. En la Tabla 3 se observa que los valores de dB/dT son positivos a lo largo de todas las isotermas y composiciones de Na₂S₂O₃.5H₂O, comportamiento que indica que la Glicina actúa como un disruptor de la estructura del solvente. Los valores del coeficiente B de transferencia (ΔB_{tr}) desde el agua a soluciones acuosas de Na₂S₂O₃.5H₂O fueron obtenidos mediante la ecuación (6)

$$\Delta B_{tr} = B(\text{Soluciones acuosas de Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) - B(\text{en agua}) \quad (6)$$

Los valores de ΔB_{tr} obtenidos son reportados en la Tabla 5.

De la Tabla 5 se observa que los valores de ΔB_{tr} son positivos en todas las isotermas y composiciones de estudio; lo cual podría indicar que en el sistema las interacciones son altamente específicas [16]. Los datos de viscosidad han sido analizados utilizando la teoría de Eyring [19], esta supone que las moléculas se mueven por cada una de las posiciones de equilibrio a través sus estados de transición en donde los enlaces intermoleculares se estiran al pasar de un estado de equilibrio a otro. En este sentido para un líquido puro se ha

demostrado que se cumple la expresión (7).

$$\eta_0 = (hN_A/\bar{V}_1^\circ) \exp(\Delta\mu_1^{\circ\#}/RT) \quad (7)$$

Donde h, N_A, \bar{V}_1° , Δμ₁^{o#}, R, y T es la constante de Planck, el número de Avogadro, el volumen molar parcial del solvente, la energía libre de activación por mol del solvente, la constante universal de los gases y la temperatura en Kelvin respectivamente.

Feakins y colaboradores [20] aplicaron la teoría del estado de transición al tratamiento de las viscosidades relativas de soluciones, mostrando que el coeficiente B puede escribirse como:

$$B = (\bar{V}_1^\circ - \bar{V}_2^\circ)/1000 + (\bar{V}_2^\circ/1000)(\Delta\mu_2^{\circ\#} - \Delta\mu_1^{\circ\#})/RT \quad (8)$$

Donde $\bar{V}_1^\circ, \bar{V}_2^\circ$ on el volumen molar parcial solvente y del soluto cuando m → 0, Δμ₂^{o#} es la contribución por mol del soluto. De esta forma Δμ₁^{o#} y Δμ₂^{o#} fueron calculado a partir de las expresiones (9) y (10) respectivamente

$$\Delta\mu_1^{\circ\#} = RT \ln(\eta_0 \bar{V}_1^\circ / hN_A) \quad (9)$$

$$\Delta\mu_2^{\circ\#} = \Delta\mu_1^{\circ\#} + \left(\frac{RT}{\bar{V}_1^\circ}\right) [1000B - (\bar{V}_1^\circ - \bar{V}_2^\circ)] \quad (10)$$

La energía total de activación del flujo viscoso fue calculada mediante la expresión (11)

$$\Delta G^{\circ\#} = x_1 \Delta\mu_1^{\circ\#} + x_2 \Delta\mu_2^{\circ\#} \quad (11)$$

Donde x₁, x₂ son las fracciones molares del solvente y del soluto respectivamente. Los valores obtenidos para Δμ₁^{o#}, Δμ₂^{o#} y ΔG^{o#} son presentados en las Tablas 6 y 7 respectivamente.

En la Tabla 6 se observa que los valores de Δμ₁^{o#} son aproximadamente constantes a todas las temperaturas y composiciones de solvente mixto en estudio, lo que indica que los valores de Δμ₂^{o#} dependen principalmente del coeficiente B y de la cantidad ($\bar{V}_1^\circ - \bar{V}_2^\circ$).

Los valores de Δμ₂^{o#} y ΔG^{o#} son positivos y mayores que los valores de Δμ₁^{o#}; lo que sugiere que el estado de transición es menos favorecido en presencia de Glicina y que la formación de este estado va acompañado de la disrupción y distorsión de los enlaces intermoleculares en la estructura del disolvente [15,21].

Tabla 2. Coeficientes B de viscosidad obtenidos de la ecuación (4)

T(K)	283.15	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15
m (mol kg ⁻¹)	B (cm ³ • mol ⁻¹)							
0.0000	0.134 ± 5E-04	0.137 ± 0.0005	0.143 ± 0.0002	0.143 ± 0.0003	0.141 ± 0.0004	0.147 ± 0.0002	0.149 ± 0.001	0.150 ± 0.001
0.0100	0.136 ± 0.008	0.144 ± 0.002	0.146 ± 0.002	0.147 ± 0.019	0.155 ± 0.019	0.157 ± 0.019	0.159 ± 0.020	0.161 ± 0.020
0.0300	0.147 ± 0.001	0.152 ± 0.007	0.155 ± 0.0008	0.155 ± 0.0008	0.164 ± 0.018	0.166 ± 0.018	0.168 ± 0.035	0.170 ± 0.019
0.0800	0.148 ± 0.014	0.150 ± 0.010	0.159 ± 0.016	0.159 ± 0.0162	0.1595 ± 0.016	0.161 ± 0.014	0.163 ± 0.014	0.170 ± 0.020
0.2000	0.162 ± 0.004	0.163 ± 0.002	0.164 ± 0.002	0.166 ± 0.0002	0.168 ± 0.002	0.172 ± 0.004	0.176 ± 0.0002	0.177 ± 0.0002
0.4000	0.177 ± 0.002	0.178 ± 0.002	0.182 ± 0.004	0.187 ± 0.002	0.191 ± 0.002	0.196 ± 0.003	0.200 ± 0.003	0.208 ± 0.009
0.6000	0.200 ± 0.002	0.204 ± 0.002	0.208 ± 0.003	0.216 ± 0.003	0.221 ± 0.003	0.229 ± 0.002	0.236 ± 0.003	0.244 ± 0.004
0.8000	0.207 ± 0.003	0.211 ± 0.002	0.216 ± 0.004	0.223 ± 0.004	0.228 ± 0.004	0.236 ± 0.003	0.245 ± 0.003	0.255 ± 0.003
1.0000	0.221 ± 0.004	0.226 ± 0.004	0.231 ± 0.004	0.235 ± 0.004	0.241 ± 0.004	0.249 ± 0.004	0.257 ± 0.005	0.265 ± 0.005
2.0000	0.290 ± 0.007	0.294 ± 0.007	0.298 ± 0.007	0.304 ± 0.007	0.311 ± 0.007	0.318 ± 0.007	0.328 ± 0.007	0.339 ± 0.008

Fuente: Los autores

Tabla 3.

Pendiente (dB/dT) de la Glicina en soluciones acuosas de Tiosulfato de Sodio Pentahidratado

T(K)	dB/dT								
	m Na ₂ S ₂ O ₃ .5 H ₂ O (mol kg ⁻¹)								
	0.0100	0.0300	0.0800	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000	1.0000	2.0000
283.15	0.0015	0.0010	0.0008	0.0002	0.0003	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007
288.15	0.0004	0.0006	0.0015	0.0002	0.0007	0.0008	0.0010	0.0010	0.0008
293.15	0.0003	0.0001	0.0000	0.0002	0.0011	0.0015	0.0014	0.0008	0.0013
298.15	0.0016	0.0017	0.0000	0.0005	0.0008	0.0010	0.0011	0.0013	0.0013
303.15	0.0004	0.0004	0.0003	0.0008	0.0009	0.0017	0.0016	0.0016	0.0014
308.15	0.0004	0.0004	0.0004	0.0008	0.0010	0.0031	0.0018	0.0016	0.0021
313.15	0.0004	0.0004	0.0004	0.0001	0.0016	0.0016	0.0019	0.0018	0.0022
318.15	0.0005	0.0005	0.0005	0.0006	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0011

Fuente: Los autores

Tabla 4.

Parámetros de la ecuación (2) y la correspondiente desviación estándar poblacional (σ)

m Na ₂ S ₂ O ₃ .5 H ₂ O (mol·kg ⁻¹)	BE	BS	K	σ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0.0000	0.1553	-0.0305	0.0375	0.0012
0.0100	0.1790	-0.0540	0.0246	0.0155
0.0300	0.2160	-0.0781	0.0120	0.0556
0.0800	0.1650	-0.0352	0.0719	0.1055
0.2000	0.5179	-0.3621	0.0013	0.1452
0.4000	1.1478	-0.9829	0.0009	0.1704
0.6000	1.1571	-0.9726	0.0013	0.1846
0.8000	1.1605	-0.9694	0.0003	0.1922
1.0000	1.1650	-0.9649	0.0002	0.0151
2.0000	1.1650	-0.9649	0.0002	0.0151

Fuente: Los autores

Este hecho sugiere que las interacciones que involucran a los iones presentes en el solvente mixto (Na⁺, S₂O₃²⁻) con los centros cargados de la Glicina (COO⁻, NH₃⁺) son fuertes y por consiguiente ocurre un favorecimiento de las interacciones soluto-solvente.

Los valores de la entalpía de activación ($\Delta H^{\circ\ddagger}$) y la entropía de activación ($\Delta S^{\circ\ddagger}$) fueron calculados mediante la expresión (12)

$$\Delta G^{\circ\ddagger} = \Delta H^{\circ\ddagger} - T\Delta S^{\circ\ddagger} \quad (12)$$

Donde los valores de $\Delta S^{\circ\ddagger}$ y $\Delta H^{\circ\ddagger}$ fueron usando el

método de los mínimos cuadrados a partir de la pendiente y el intercepto de la gráfica de $\Delta G^{\circ\ddagger}$ en función de T. Los datos obtenidos de $\Delta S^{\circ\ddagger}$ y $\Delta H^{\circ\ddagger}$ se muestran en la Tabla 7.

En la Tabla 7 es notorio que los valores de $\Delta S^{\circ\ddagger}$ y $\Delta H^{\circ\ddagger}$ son positivos a todas las temperaturas y composiciones de solvente mixto, lo cual sugiere que la formación del estado de transición va acompañado de una disrupción de los enlaces intermoleculares y una estructura más desordenada de las especies en el estado activado. Este comportamiento se ha observado en otros sistemas de aminoácidos en solventes mixtos [5,15,22]

Tabla 5.

Coeficientes B de transferencia (ΔB_{tr}) desde el agua a soluciones acuosas de Na₂S₂O₃.5H₂O

T(K)	ΔB_{tr} (cm ³ ·mol ⁻¹)								
	m Na ₂ S ₂ O ₃ .5 H ₂ O (mol kg ⁻¹)								
	0.0100	0.0300	0.0800	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000	1.0000	2.0000
283.15	0.002	0.013	0.014	0.028	0.043	0.066	0.073	0.087	0.156
288.15	0.006	0.015	0.015	0.026	0.041	0.067	0.074	0.088	0.156
293.15	0.003	0.012	0.016	0.022	0.039	0.065	0.073	0.088	0.155
298.15	0.004	0.012	0.016	0.022	0.044	0.073	0.080	0.091	0.161
303.15	0.011	0.020	0.015	0.024	0.047	0.076	0.084	0.097	0.167
308.15	0.010	0.019	0.014	0.026	0.049	0.082	0.090	0.102	0.171
313.15	0.010	0.019	0.014	0.027	0.051	0.095	0.096	0.107	0.179
318.15	0.011	0.020	0.015	0.027	0.059	0.086	0.105	0.116	0.189

Fuente: Los autores

Tabla 6.

Energía libre de activación por mol del soluto y de solvente ($\Delta\mu_2^{o\#}$, $\Delta\mu_1^{o\#}$), volumen molar parcial a dilución infinita del solvente y del soluto (\bar{V}_1^o , \bar{V}_2^o).

T(K)	Mezcla	$m\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$				
		(mol·Kg ⁻¹)	(kJmol ⁻¹)	(kJmol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)
283.15	Glicina + Agua	0.0000	58.43	78.69	18.36	42.18
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0100	58.43	79.07	18.34	43.15
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0300	58.44	80.54	18.29	43.26
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0800	58.45	80.88	18.18	43.44
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.2000	58.49	83.17	17.91	43.68
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.4000	58.57	86.04	17.51	45.00
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.6000	58.67	90.04	17.16	45.35
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.8000	58.79	91.97	16.84	47.04
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	1.0000	58.91	94.87	16.56	48.09
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	2.0000	59.51	109.25	15.41	50.79
288.15	Glicina + Agua	0.0000	59.41	80.43	18.38	42.48
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0100	59.14	81.19	18.35	43.62
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0300	59.14	82.32	18.31	43.69
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0800	59.15	82.54	18.19	43.86
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.2000	59.50	84.90	17.92	44.63
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.4000	59.59	87.80	17.53	45.82
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.6000	59.67	92.30	17.18	46.80
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.8000	59.79	94.27	16.86	48.64
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	1.0000	59.91	97.24	16.59	49.55
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	2.0000	60.54	111.97	15.44	53.23
293.15	Glicina + Agua	0.0000	60.34	82.51	18.39	42.83
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0100	59.86	82.57	18.37	44.04
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0300	59.87	83.86	18.32	44.13
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0800	59.89	84.69	18.21	44.30
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.2000	60.52	86.63	17.94	45.67
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.4000	60.58	89.87	17.55	46.73
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.6000	60.66	94.53	17.21	48.00
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.8000	60.77	96.69	16.89	49.84
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	1.0000	60.90	99.73	16.62	50.86
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	2.0000	61.56	114.79	15.47	55.48
298.15	Glicina + Agua	0.0000	61.37	83.99	18.39	43.10
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0100	60.86	84.18	18.39	44.41
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0300	60.85	85.34	18.34	44.44
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0800	60.91	86.16	18.23	44.60
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.2000	61.54	88.33	17.96	46.58
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.4000	61.55	92.16	17.61	47.70
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.6000	61.61	97.23	17.24	49.25
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.8000	61.74	99.36	16.94	51.04
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	1.0000	61.90	102.11	16.65	52.27
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	2.0000	62.56	118.02	15.50	58.09
303.15	Glicina + Agua	0.0000	62.38	85.49	18.44	43.40
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0100	61.35	86.14	18.42	44.75
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0300	61.35	87.44	18.37	44.82
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0800	61.93	87.63	18.26	44.88
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.2000	62.54	90.20	17.99	47.34
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.4000	62.53	94.35	17.61	48.70
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.6000	62.60	99.55	17.29	50.21
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.8000	62.72	101.89	16.95	52.05
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	1.0000	62.88	104.86	16.69	53.72
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	2.0000	63.56	121.23	15.53	60.07
308.15	Glicina + Agua	0.0000	63.37	87.19	18.47	43.71
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0100	62.34	87.79	18.45	44.96
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0300	62.33	89.11	18.40	45.02
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + Glicina + Agua	0.0800	62.35	88.65	18.29	45.12

Continuación Tabla 6.

Energía libre de activación por mol del soluto y de solvente ($\Delta\mu_2^{\circ\#}$, $\Delta\mu_1^{\circ\#}$), volumen molar parcial a dilución infinita del solvente y del soluto (\bar{V}_1° , \bar{V}_2°).

T(K)	Mezcla	mNa ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O (mol•Kg ⁻¹)	$\Delta\mu_1^{\circ\#}$	$\Delta\mu_2^{\circ\#}$	\bar{V}_1°	\bar{V}_2°	
			(kJmol ⁻¹)	(kJmol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	
313.15	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.2000	63.51	92.27	18.02	48.19	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.4000	63.50	96.55	17.64	49.72	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.6000	63.54	102.41	17.33	51.20	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.8000	63.67	104.75	16.99	53.08	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	1.0000	63.84	107.83	16.72	55.09	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	2.0000	64.56	124.48	15.57	62.12	
	Glicina + Agua	0.0000	63.96	88.53	18.51	43.96	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.0100	63.32	89.41	18.51	45.19	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.0300	63.32	90.81	18.44	45.26	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.0800	63.33	90.34	18.32	45.40	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.2000	64.49	94.33	18.06	48.91	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.4000	64.48	98.84	17.68	50.55	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.6000	64.49	106.41	17.34	52.29	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.8000	64.61	107.87	17.01	54.14	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	1.0000	64.80	110.83	16.76	56.40	
	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	2.0000	65.53	128.40	15.61	64.49	
	318.15	Glicina + Agua	0.0000	64.96	89.98	18.54	44.22
		Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua	0.0100	64.30	91.11	18.52	45.39
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua		0.0300	64.30	92.50	18.47	45.47	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua		0.0800	64.32	92.03	18.36	45.70	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua		0.2000	65.52	95.95	18.09	49.61	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua		0.4000	63.77	99.89	17.72	51.23	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua		0.6000	65.44	106.88	17.38	53.54	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua		0.8000	65.55	110.96	17.06	55.20	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua		1.0000	65.75	113.94	16.80	57.35	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O+ Glicina + Agua		2.0000	66.50	132.37	15.65	66.43	

Fuente: Adaptada desde [5]

Tabla 7.

Parámetros de activación ($\Delta G^{\circ\#}$, $\Delta H^{\circ\#}$, $\Delta S^{\circ\#}$) del flujo viscoso

T(K)	283.15		288.15		293.15		298.15		303.15		308.15		313.15		318.15	
	m Na ₂ S ₂ O ₃ . 5 H ₂ O (mol•Kg ⁻¹)	$\Delta H^{\circ\#}$ (Kj mol ⁻¹)	$\Delta S^{\circ\#}$ (Kj mol ⁻¹ K ⁻¹)	$\Delta H^{\circ\#}$	$\Delta S^{\circ\#}$	$\Delta H^{\circ\#}$	$\Delta S^{\circ\#}$	$\Delta H^{\circ\#}$	$\Delta S^{\circ\#}$	$\Delta H^{\circ\#}$	$\Delta S^{\circ\#}$	$\Delta H^{\circ\#}$	$\Delta S^{\circ\#}$	$\Delta H^{\circ\#}$	$\Delta S^{\circ\#}$	$\Delta H^{\circ\#}$
0.0000	5.41 ± 0.18	1.211 ± 0.004	58.555	59.538	60.479	61.509	62.529	63.524	64.111	65.114						
0.0100	10.94 ± 1.47	0.167 ± 0.004	58.568	59.289	60.010	61.012	61.518	62.506	63.497	64.481						
0.0300	11.07 ± 1.49	0.1672 ± 0.0049	58.584	59.286	60.022	61.009	61.515	62.504	63.492	64.479						
0.0800	10.78 ± 1.38	0.168 ± 0.004	58.594	59.302	60.049	61.074	62.100	62.520	63.508	64.496						
0.2000	1.65 ± 0.17	0.201 ± 0.001	58.648	59.668	60.690	61.712	62.715	63.700	64.681	65.714						
0.4000	11.04 ± 4.92	0.169 ± 0.016	58.747	59.772	60.765	61.744	62.728	63.714	64.698	63.996						
0.6000	3.83 ± 0.24	0.1950 ± 0.0008	59.036	60.043	61.035	62.007	63.002	63.962	64.923	65.858						
0.8000	3.79 ± 0.19	0.22 ± 0.001	59.003	60.009	61.002	61.977	62.965	63.926	64.880	65.834						
1.0000	3.18 ± 0.21	0.198 ± 0.001	59.136	60.146	61.147	62.154	63.143	64.118	65.087	66.054						
2.0000	2.98 ± 0.24	0.199 ± 0.001	59.528	60.555	61.576	62.580	63.580	64.579	65.551	66.518						

Fuente: Los autores

4. Conclusiones

En este trabajo se reportan los datos experimentales para las viscosidades del sistema Glicina en soluciones acuosas de Tiosulfato de Sodio Pentahidratado (0.01-2.0 mol Kg⁻¹) a las temperaturas de (283.15; 288.15; 293.15; 298.15; 303.15; 308.15; 313.15 y 318.15) K y 101.1 Kpa.

Los valores del coeficiente B son positivos a lo largo de todas las composiciones e isothermas de estudio, lo que sugiere que en el sistema se favorecen las interacciones soluto-solvente, las cuales podrían ser asociadas a dos tipos de

interacciones: 1) Interacciones Ión – ión entre el ión Na⁺ del solvente mixto y el grupo COO⁻ de la Glicina y 2) Interacciones Ión – Ión entre el ión S₂O₃²⁻ y el grupo NH₃⁺ de la Glicina. Adicionalmente los valores de dB/dT y ΔB_{tr} son positivos; hecho que indica que la Glicina actúa como un disruptor de la estructura del solvente (cosmotrópico) y que las interacciones en el sistema pseudobinario son altamente específicas.

Por otro lado los valores de $\Delta\mu_2^{\circ\#}$ y $\Delta G^{\circ\#}$ son positivos y mayores que los valores de $\Delta\mu_1^{\circ\#}$, lo que sugiere que el estado de transición es menos favorecido en presencia de

Glicina y que la formación de este estado va acompañado de la disrupción y distorsión de los enlaces intermoleculares en la estructura del disolvente.

Finalmente el signo positivo de $\Delta S^{\circ\ddagger}$ y $\Delta H^{\circ\ddagger}$ sugieren que la formación del estado de transición presenta una estructura más desordenada de las especies en el estado activado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba, a la Universidad Andres Bello y a la Beca de Doctorado CONICYT Programa Formación de Capital Humano Avanzado/Doctorado Nacional-63130037 por el apoyo prestado para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] Páez, M., Cantero, P., and Peña, J., Viscosities of the Mixture N,N-Dimethylformamide +1-Butanol at Different Temperatures. *Inf. Tecnol.*, 23(3), pp.149-156, 2012.
- [2] Wang, P., Anderko, A. and Young, R.D., Modeling viscosity of concentrated and mixed-solvent electrolyte systems, *Fluid Phase Equilib.*, 226, pp. 71-82, 2004.
- [3] Kumar, A., Molecular interactions in binary mixtures of formamide with 1-butanol,2-butanol, 1,3-butanediol and 1,4-butanediol at different temperatures: An ultrasonic and viscometric study, *Fluid Phase Equilibria.*, 265, pp.46-56, 2008.
- [4] Páez, M., Lans, E. and Cantero, P., Densities and volumetric properties of the mixture N,N-dimethylformamide (DMF) + 1-butanol at several temperatures. *DYNA*, 80(177), pp.132-141, 2013.
- [5] Sinha, B., Sarkar, A., Kumar, P., and Brahman, D., Physicochemical properties of L-Alanine in aqueous silver sulphate solutions at (298.15, 308.15, and 318.15) K, *Int. J. Thermophys.*, 32, pp.1-17, 2010.
- [6] Ali, A. and Shahjahan, A., Density and viscosity of α -amino acids in aqueous solutions of cetyltrimethylammonium bromide, *Russ. Chem. Bull.*, 59, pp.1999-2004, 2010.
- [7] Shekaari, H. and Jebali, F., Solute-Solvent interactions of amino acids in aqueous 1-Propyl-3-Methylimidazolium bromide ionic liquid solutions at 298.15 K, *J. Solution Chem.*, 39, pp.1409-1427, 2010.
- [8] Siegel, A. and Siegel, H., *Metal ions in biological systems.*, Inc. New York. USA, 1973.
- [9] Williams, R. J., *Bioinorganic Chemistry: Trace element aerobic anaerobic evolution In: Structure and bonding*, Vol. 91, Springer, 1998.
- [10] Fraústo da Silva, J.J.R. and Williams, R.J.P., *The biological chemistry of the elements.* Oxford University Press. Oxford, 2001.
- [11] Jones, G. and Dole, M., The viscosity of aqueous solutions of strong electrolytes with special reference to barium chloride, *J. Am. Chem. Soc.*, 51, pp. 2950-2964, 1929.
- [12] Stokes, R.H. and Millers, R., *International encyclopedia of physical chemistry and chemical physics*, Pergamon Press, New York, 1965.
- [13] Yan, Z., Wang, J., Kong, W., and Lu, J., Effect of temperature on volumetric and viscosity properties of some [alpha]-amino acids in aqueous calcium chloride solutions, *Fluid Phase Equilib.*, 215(2), pp. 143-150, 2004.
- [14] Banipal, T.S. and Singh, G., Thermodynamic study of salvation of some amino acids, diglycine and lysozyme in aqueous and mixed aqueous solutions, *Thermochim. Acta*, 412, pp. 63-83, 2004.
- [15] Yan, Z., Wang, J. and Lu, J., Viscosity behavior of some α -amino acids and their groups in water-sodium acetate mixtures, *Biophys. Chem.*, 99, pp. 199-207, 2002.
- [16] Banipal, T.S., Kaur, J., Banipal, K., Sood, K., and Singh, K. Volumetric and Viscometric Studies of Some Amino Acids in Aqueous Solutions of Cadmium Chloride at T = (288.15 to 318.15K and at Atmospheric Pressure. *J. Chem. Eng. Data*, 56, pp. 2751-2760, 2011.
- [17] Bhat, R., Kishore, N. and Ahluwalia, J.C., Thermodynamic studies of transfer of some amino acids and peptides from water to aqueous glucose and sucrose solutions at 298.15 K, *J. Chem. Soc. Faraday Trans. I*, 84(8), pp. 2561-2665, 1988.
- [18] Li, Z., Sang, W. and Lin, R., Partial molar volumes of glycine, L-alanine and L-serine in aqueous glucose solutions at T = 298.15 K, *J. Chem. Thermodyn.*, 34, pp.1761-1768, 2002.
- [19] Glasstone, S., Laidler, K. J. and Eyring, H., *The theory of rate processes*, McGraw Hill, New York, 1941.
- [20] Feakins, D., Freemantle, D. and Lawrence, K., Treatment of the transition state of the relative viscosity of electrolyte solutions. Applications to aqueous systems, nonaqueous and methanol + water, *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, 1(70), pp.795-806, 1974.
- [21] Sinha, A., Kumar, P. and Mahendra, N., Apparent molar volumes and viscosity B-Coefficients of glycine in aqueous silver sulphate solutions at T = (298.15, 308.15, 318.15) K, *Acta Chim. Slov.*, 57, pp.651-659, 2010.
- [22] Khanuja, P., Volumetric and viscometric study of interactions of amino acids in aqueous sucrose solution at different temperatures, *Chem Sci Trans.vol.* 2(4), pp. 1268-1275, 2013.

M. S. Páez-Meza, Graduado en 1987 como Licenciado en Química en la Universidad de Córdoba. Colombia. En 1996 se graduó de Especialista en Ciencias Física; mientras que en el 2001 se graduó de Magister en Ciencias Químicas, y en 2006 de Dr. Sc Ciencias Químicas, todos ellos de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Del 1996 a la fecha, se desempeña como docente de carrera en la Universidad de Córdoba tanto en los programas de pregrado como de postgrado. También se desempeña como líder del grupo de investigación: Físicoquímica de mezclas líquidas.

G. M. Alvarino-Bettín, Graduado como Licenciado en Matemáticas y Físicas en la Universidad de Córdoba en Junio de 1982; recibió título de Especialista en Ciencias Físicas en Agosto de 1997 en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá en Agosto de 1997; recibió título de MSc en Ciencias Físicas en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá en octubre de 2002; recibió título de Magister en Educación en la Universidad de Córdoba, en Diciembre de 2008. Desde 1982 hasta 1997 se desempeñó como docente de secundaria en el sector público, en diferentes instituciones del Departamento de Córdoba. Desde 1997 se vinculó como docente de planta a la Universidad de Córdoba, adscrito al Departamento de Física y Electrónica, desempeñándose como docente investigador en el área de percepción remota satelitaria, trabajando con digitalización de imágenes de satélite. Posteriormente trabajó en proyectos de investigación en el área de física médica. En la actualidad trabaja en proyectos que se enfocan en el estudio de la termodinámica de soluciones acuosas, en colaboración con docentes del Departamento de Química en la Universidad de Córdoba.

P. de los S. Cantero-López, Graduado como Químico en Diciembre de 2009 y Magister en Ciencias Químicas en marzo de 2014 en la Universidad de Córdoba Colombia. Desde 2007 se desempeña como investigador al grupo de investigación: Físicoquímica de mezclas líquidas. Desde 2010 hasta 2012 se desempeñó como docente en la Universidad de Córdoba. Actualmente es estudiante del Doctorado en Físicoquímica Molecular en la Universidad Andrés Bello (Santiago de Chile).