



Artículo: COMEII-16034

II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

EL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS ACUÍFEROS 0830 Y 0835 DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, (MÉXICO), IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO E HIDROGEOQUÍMICO

**Eduardo Florencio Herrera Peraza¹; Martín Bojórquez Carrillo¹; Carmen Julia Navarro
Gómez²; Humberto Iván Navarro Gómez^{3*}**

¹Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Departamento de Medio Ambiente, Av. Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, 31109 Chihuahua, Chihuahua

²Junta Municipal de Agua y Saneamiento, Av. Ocampo 1604, Colonia Centro, 31690 Chihuahua, Chihuahua

³Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, km. 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo, Colonia Carboneras, 42184 Mineral de la Reforma, Hidalgo.
humberto.navarro@me.com. (*Autor de correspondencia).

Resumen

En este trabajo se recopila suficiente información para poder realizar un diagnóstico de las capacidades de agua potable en el acuífero de Chihuahua-Sacramento. Mediante técnicas de estadísticas avanzadas se propone encontrar las variables que controlan los sistemas del flujo regional e intermedio y así establecer la diferenciación de un acuífero heterogéneo. Las variables escogidas de las que se determinaron fueron los sólidos totales (ST), nitratos (NO_3), Flúor (F), la dureza total, entre otros. Para establecer un modelo conceptual se utilizaron resultados de todos los muestreos llevados a cabo por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en el acuífero citado, donde se pretende disponer, aproximadamente de una diferenciación de los flujos. Los resultados presentaron una buena diferenciación de los flujos además de la detección de un grupo de agua de mezcla entre los flujos intermedio y regional. El aumento del promedio de los valores para el flujo regional sugiere una influencia creciente de un flujo ascendente perteneciente al flujo regional como resultado de una extracción sin control.

Palabras claves adicionales: Técnicas estadísticas, flujo regional e intermedio, control de extracción



Introducción

Durante todo el período evolutivo de la vida y en especial desde la aparición del hombre, los recursos hídricos se han venido explotando de forma equilibrada y estable para el ecosistema. La aparición gradual de la inteligencia humana no ha implicado la concientización de un uso racional de los recursos. Simplemente, se han ido utilizando de acuerdo al aumento de la población y de sus necesidades.

En el Estado de Chihuahua, la disponibilidad del líquido en sus vastas regiones áridas y semiáridas es limitada en cantidad y en calidad, condicionando la actividad económica y la vida misma. Este problema se ha agudizado con el paso de los años, produciéndose prolongados períodos de sequía en grandes extensiones del estado.

Se estima que del volumen total de agua empleado en la entidad en todos sus usos, el 60% proviene de fuentes de agua subterránea y el 40% de fuentes de agua superficial, por lo que las aguas subterráneas tienen una importancia destacada en el Estado para el abastecimiento de agua a la población y para uso agrícola.

En Chihuahua se han identificado 61 acuíferos principales de carácter regional; dos se ubican en la región Alto Bravo, 27 en la Conchos-Mapimí, 29 en las Cuencas Cerradas y tres en las Vertientes Occidentales. Al realizar el balance por acuífero, 11 de ellos manifiestan algún grado de sobreexplotación, de los cuales, cinco (Chihuahua-Sacramento, Laguna de Mexicanos, Cuauhtémoc, Villa Ahumada-Flores Magón y Jiménez-Camargo) reportan una condición severa (www.chihuahua.gob.mx, 2011).

El agua que sirve de abastecimiento para la Ciudad de Chihuahua, se extrae de 3 acuíferos distintos. Estos son el acuífero Chihuahua-Sacramento (**ACHS**) o acuífero **0830**, según la clasificación de la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua (CNA), el cual cuenta con 69 pozos activos actualmente, y es el primer acuífero en ser el sustento de agua potable para la Ciudad; así mismo, es el que aporta el mayor volumen de agua representando un 49% del total del volumen anual extraído. El siguiente es el acuífero Sauz-Encinillas (**ASE**) o acuífero **0807**, con 24 pozos activos. En total el volumen extraído del acuífero Sauz-Encinillas representa el 20.86 % del volumen total. Por último, el acuífero Tabalaopa-Aldama (**ATA**) o acuífero **0835**, el cual cuenta con 42 pozos activos y del cual se extrae el 30.14% del volumen anual total.

Objetivos del estudio

De los acuíferos mencionados anteriormente, sólo se procesaron el ACHS y el ATA, por ser los más vinculados con los objetivos del estudio del presente trabajo que son: desarrollar la investigación mediante la combinación del análisis de factores y el análisis de Clúster como una herramienta útil para encontrar:

- a) Las variables que controlan los sistemas del flujo regional e intermedio.
- b) La forma de diferenciar los flujos en un acuífero heterogéneo de gran espesor.



Estos objetivos permitirán crear, a partir de la información existente, una base sólida que traiga consigo un aporte al Programa de Protección de Aguas Subterráneas en el Estado de Chihuahua.

Características principales de la región de estudio

Zonas de protección hidrogeológicas estudiadas

La Environmental Protection Agency (U.S. EPA), define a una zona de protección hidro-geológica como “el área de la superficie o del subsuelo que rodea una captación de agua o campo de pozos que sirven como abastecimiento de agua potable a una comunidad” (U.S. EPA, 1987).

Según la actualización de la media anual del agua subterránea, publicada en el año 2015 por la CONAGUA existen resultados de estudios técnicos que concluyen que hay una modificación en la disponibilidad del agua subterránea en las regiones analizadas. Estas se deben al cambio del régimen natural de recarga, volumen concesionado y recarga natural comprometida, lo cual ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

En el cuadro 1 aparecen los datos reportados para las regiones de interés (CONAGUA, 2015) para sendas regiones en estudio. En dicha tabla las cifras están dadas en millones de metros cúbicos anuales y las ocho leyendas se refieren a:

CLAVE, que otorga la CONAGUA; ACUIFER, se refiere a las siglas del acuífero; R, es la recarga media anual; DNCOM, es la descarga anual comprometida; VCAS, es el volumen concesionado del agua subterránea; VEXTET, es al volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS, es la disponibilidad media anual de agua subterránea y, DÉFICIT, representa el desbalance real para la disposición al consumo del agua.

Cuadro 1. Datos reportados en las regiones estudiadas.

CLAVE	ACUIFER.	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
0830	ACHS	56.6	0	102.1	67.2	0	-45.5
0835	ATA	76.5	4.3	59.8	75.1	12.4	0

Todas las definiciones de los términos citados aparecen en están contenidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

Para la caracterización hidrogeoquímica se consideraron los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a 59 muestras de agua subterránea, obtenidas durante el estudio realizado entre los años 2003 al 2016 por la Junta municipal de Aguas y Saneamiento (JMAS) de Chihuahua en los pozos destinados al abastecimiento de agua potable. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, Fe, Mn, Fluoruros, Cloruros, temperatura, conductividad eléctrica, pH, dureza total y sólidos totales disueltos, entre otros.

De acuerdo con los resultados de los análisis físicoquímicos, se puede observar que la concentración de Sólidos Totales Disueltos es, en la mayoría de los casos, menor a los 600 ppm, inferior a las 1000 ppm que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para el agua destinada al consumo humano. De manera general, las concentraciones se incrementan desde el norte y desde las estribaciones de las sierras hacia el centro del acuífero.

Se elaboró un mapa de la evolución de los acuíferos Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama con la información piezométrica correspondiente a los años 2007 y 2009. Sin embargo, para el caso ATA, no existe mucha información piezométrica que permita hacer una evaluación detallada de la configuración de evolución del nivel estático, pero sí se conoce y se observa en la Tabla 1 que la incipiente extracción que se ha estado realizando no ha causado, aparentemente la alteración de las condiciones originales del régimen de flujo subterráneo.

En la figura 1a aparecen los límites del acuífero Chihuahua-Sacramento, donde también se puede observar la colindancia con el acuífero Tabalaopa-Aldama; en la figura 1b se muestra la elevación del nivel estático (msnm) actualizada a 2014 conforme a los datos reportados por la JMAS de Chihuahua, retomados por la Comisión Nacional del Agua en el estudio de actualización de la disponibilidad de ambos acuíferos (CONAGUA, 2015). También se muestran en esta figura los cortes de las secciones geológicas AB y CD.

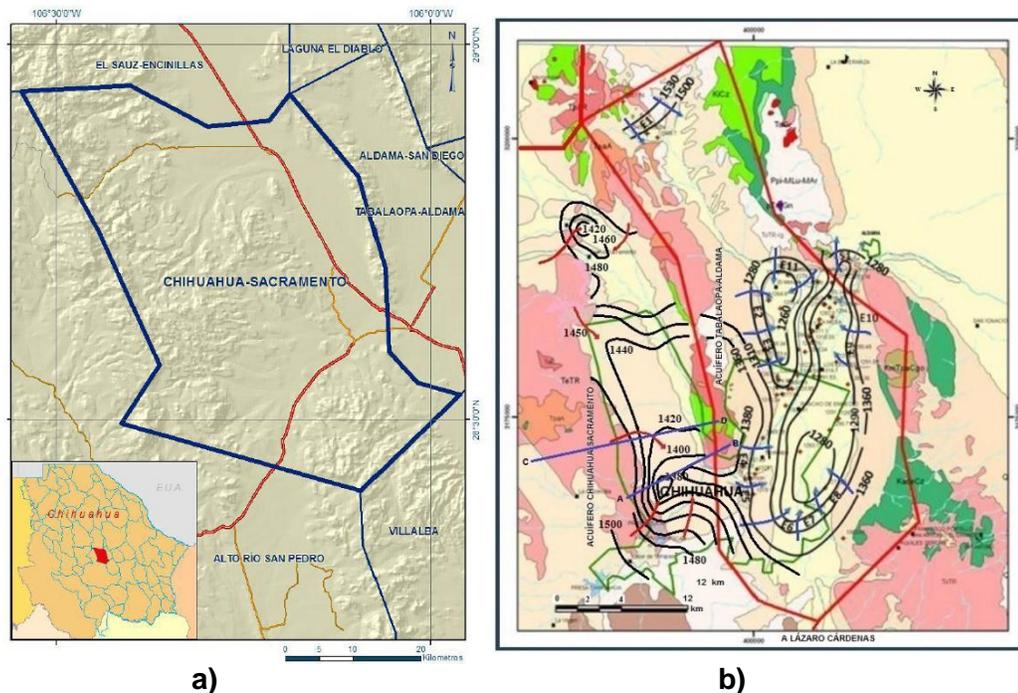


Figura 1. En a) Se muestra la ubicación de los acuíferos Chihuahua-Sacramento (ACHS) y Tabalaopa-Aldama (ATA) y en b) los niveles estáticos (en msnm) para ambos acuíferos.

La figura 2 muestra el corte geológico CD emplazado desde las estribaciones de La Hacienda y Nombre de Dios en la cuenca tectónica, cuyo espesor máximo probablemente no sea mayor de 600 m en la zona de la Ciudad de Chihuahua.

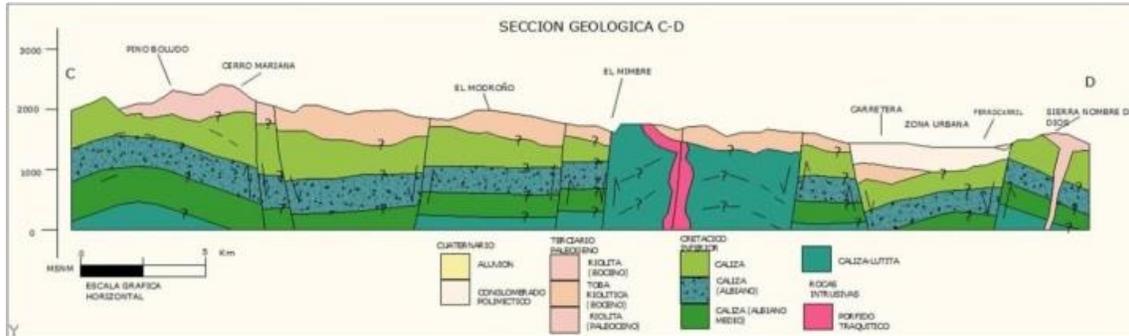


Figura 2. Sección geológica dentro del acuífero ACHS.

Metodología del estudio

Análisis multivariado para la determinación de los tipos de flujo

En varios trabajos publicados sobre las componentes verticales de los flujos y en contraste con el medio geológico en el valle de San Luis Potosí (Carrillo-Rivera et al, 1996, Carrillo-Rivera et al 2007, Carrillo-Rivera y Cardona 2008), se detalla la metodología estadística para la determinación de las componentes de los flujos intermedios (FI), de mezcla (FM) y regionales (FR), por debajo de los propios flujos locales, llegándose a la conclusión de que la determinación de las temperaturas del agua de extracción y los contenidos de flúor son fundamentales para la ubicación de los tipos de flujos citados.

En la figura 3 se observa claramente que en el resultado gráfico de la carga de factores multivariados, la dependencia de la temperatura del agua con los contenidos de flúor, también nos dan una idea de la calidad del agua de extracción.

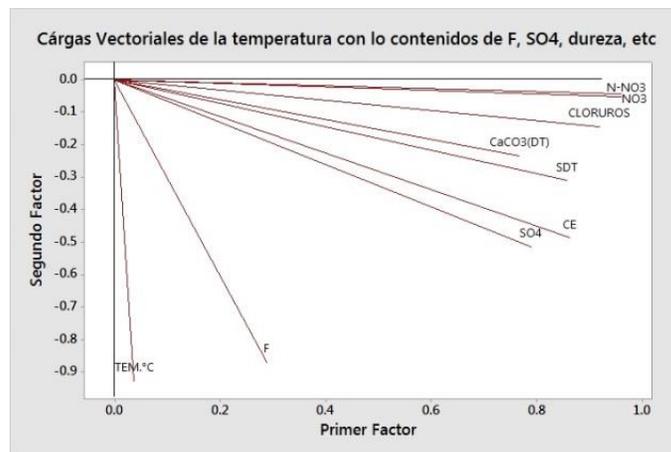


Figura 3. Cargas de los factores vectoriales en calidad del agua.

Este resultado gráfico es similar para los dos acuíferos estudiados y se obtuvo a partir de los reportes de la calidad del agua entre los años 2003 y 2016.

En los cuadros 2(a) y 2(b) se muestran los resultados de los valores de temperatura (°C), la conductividad eléctrica (CE en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos, nitratos, dureza total, calcio, magnesio, hierro y flúor (todos estos últimos se reportan en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) de 60 pozos en ACHS y 40 en ATA, respectivamente, procesados todos con la versión del MINITAB 17.

Los colores siguen el estricto orden de los tipos de flujos determinados estadísticamente, o sea amarillo FI, el naranja, FM y el rojo FR. En el caso de los parámetros de calidad que tienen invertidos los colores, es porque no siguen el comportamiento que fijan la temperatura y los contenidos de flúor. Esto se hace más notorio en los resultados del ACHS porque los registros procesados acumulan los resultados entre los años 2003 al 2009, mientras que los de ATA van del 2003 al 2016.

Cuadro 2. Valores medios de parámetros de la calidad del agua ACHS (a) y ATA(b), reportados por la JMAS de Chihuahua.

TEM.°C	CE	SDT	CLORUROS	SO ₄	NO ₃	N-NO ₃	CaCO3(DT)	Ca	Mg	Fe	Mn	F
24	517	353	15	64	20	5	441	135	25	0.085	0.025	1.3
27	503	341	11	60	13	3	426	138	20	0.090	0.019	1.7
32	455	311	6	52	5	1	327	105	16	0.141	0.020	2.0

(a)

TEM.°C	CE	SDT	CLORUROS	SO ₄	NO ₃	N-NO ₃	CaCO3(DT)	Fe	Mn	F
24	462	317	16	44	13	3.0	116	0.066	0.019	1.6
28	568	372	22	69	15	3.4	134	0.067	0.018	2.4
32	616	401	19	75	16	3.5	135	0.048	0.033	3.7

(b)

Es necesario observar que en el caso de la Tabla 2(b) existe una tendencia de los demás parámetros citados a seguir los comportamientos de la temperatura y en flúor en los flujos determinados.

El ligero aumento de los contenidos de flúor puede dar una indicación del incremento en la succión del flujo regional debido a la explotación de los pozos en el ATA, hecho que no se refleja en los resultados de la Tabla 1.

En este caso debe tenerse en cuenta que los resultados de ATA incluyen ya los valores de las explotaciones de pozos de lo que se lleva de año en el 2016 y que indican una explotación sin control para fines fundamentalmente agrícolas.

Es justo aclarar el sumo cuidado que debe tenerse con el uso de paquetes estadísticos, ya que muestran las variaciones de los resultados finales según se vayan modificando los valores iniciales empleados.

Debe actuarse con mucha cautela en el análisis y la interpretación de los resultados, lo cual es indispensable para obtener un resultado aceptable que pueda reflejar una imagen clara del funcionamiento de los sistemas de flujo, debido a que un valor único cambiado en los pasos individuales del procedimiento del análisis puede causar diferentes resultados y conclusiones, en especial respecto al caso de las componentes químicas y físicas de los sistemas de flujo.

Posterior al análisis estadístico es importante el seguimiento con un monitoreo de las características hidro-geoquímicas del agua obtenida donde se puede observar y estudiar a más detalle la evaluación de los indicadores principales del flujo regional.

Siguiendo esta metodología se estimó el trazado de los sistemas de flujo para el ACHS. En la figura 4 se muestran los tipos rocas y flujos estimados.

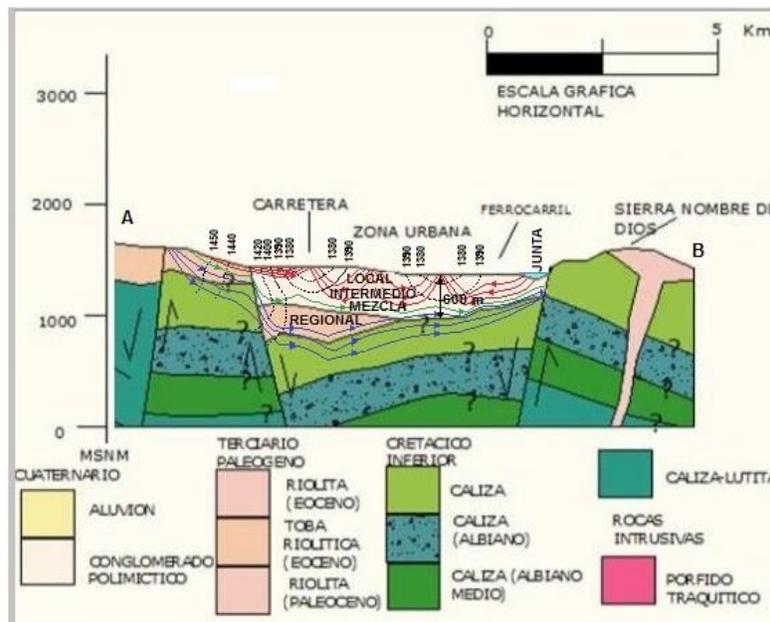


Figura 4. Sección de la Ciudad de Chihuahua que muestra el sistema de flujos estudiados por debajo de los locales.

En la figura 5 se muestran los niveles estáticos a detalle, obtenidos tomando como base el muestro realizado con el apoyo de la JMAS de Chihuahua y confirmando el comportamiento del flujo con base al análisis geo-estadístico e hidro-geoquímico amparado en el presente estudio.

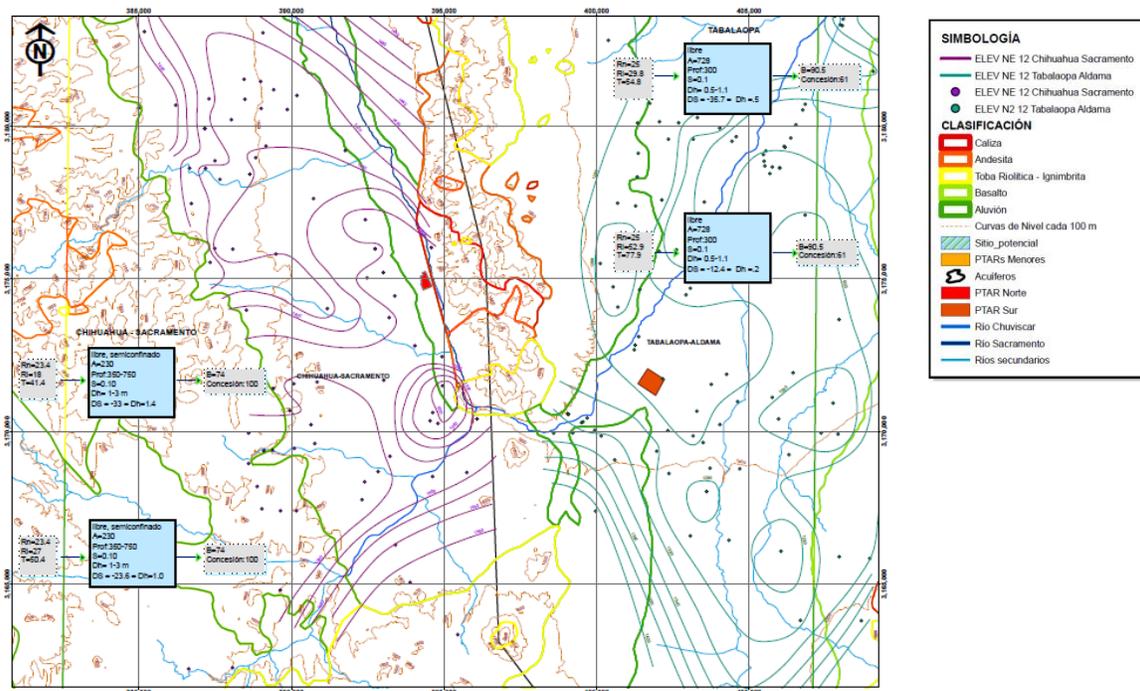


Figura 5. Balance hidráulico y niveles estáticos resultantes con los ajustes realizados con el estudio.

Conclusiones

Del estudio realizado se pudo estimar el comportamiento de los flujos en los acuíferos de Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama. Los valores de los contenidos de flúor reportados en los tres niveles de flujo medio, mezcla y regional, sirven de guía temporal y espacial para el seguimiento del comportamiento de la calidad del agua y de cómo manejar las extracciones, afectando lo menos posible al consumo de la población.

Referencias bibliográficas

Carrillo-Rivera, J. J., Cardona, A. y Moss, D. (1996). Importance of the vertical component of groundwater flow: a hydro-chemical approach in the valley of San Luis Potosí, Mexico. *Journal Hydrogeology*, Vol. 185, pp. 23-44.

Carrillo-Rivera, J.J. et al (2007). Tracing groundwater flow systems with hydro-geochemistry in contrasting geological environments. *Water Air Pollution*, Vol. 184, pp. 77-103.



Carrillo-Rivera, J.J. y Cardona, A. (2008). Groundwater flow system response in thick aquifer units: theory and practice in Mexico. Internacional Congress, Zacatecas, México, Taylor & Francis Group. Leiden, The Netherlands, pp. 25-46.

CONAGUA (2015). Diario Oficial de la Federación. Actualización de la disponibilidad media anual del agua en el acuífero Chihuahua-Sacramento (0830), Estado de Chihuahua. 20 de abril del 2015.

CONAGUA (2015). Diario Oficial de la Federación. Actualización de la disponibilidad media anual del agua en el acuífero Tabalaopa-Aldama (0835), Estado de Chihuahua. 20 de abril del 2015.

MINITAB 17 (2013). All rights reserved.