

# Análisis estadístico-matemático de los puntos de muestreo de las variables físico-químicas en la cuenca del río San Carlos

Nicolas Quintana B.  
Freddy Araya Rodríguez  
Adolfo Chaves Campos

## Resumen

En el presente artículo se presenta un análisis estadístico-matemático de los puntos de muestreo y de las repeticiones que se deben realizar durante el año en un estudio sobre la calidad de agua en la cuenca del río San Carlos. Con el fin de lograr mayor precisión metodológica en el análisis, se realiza *post hoc*, es decir que los análisis de los datos se realizaron posteriormente a la toma de los datos en un período de dos años (1998 a 2000) durante la realización del Proyecto. Al desarrollar estos análisis estadísticos se determina, de acuerdo con la pruebas de homogeneidad y de Duncan, que se puede reducir de trece a seis el número de puntos de muestreo y se sigue teniendo la misma información de la cuenca. Además, también se puede reducir el número de muestreos por año, pues hay meses que estadísticamente

son idénticos.

## Introducción

La Cuenca del río San Carlos (2646,3 km<sup>2</sup>) es la más importante en la zona Norte y la quinta más grande del país (Gómez, 1986). Además, es parte de la Cuenca del río San Juan, una de las masas de agua más importantes de Centro América, de mucha importancia en el desarrollo económico de la zona Norte, pues muchas de sus actividades se realizan dentro de ella.

No existe, hasta el momento, una evaluación global del impacto generado como consecuencia de las alteraciones provocadas por las actividades antropogénicas en esta cuenca, y los posibles efectos que a mediano plazo pudieran llevar a niveles que hicieran demasiado costosa la recuperación de este importante recurso.

Para la evaluación de las condiciones físico químicas de la cuenca es necesario, a partir de los análisis de los datos, desarrollar una metodología para determinar en cuántos lugares se debe hacer muestreo para obtener información válida para toda la cuenca.

Por medio de la utilización de los modelos matemáticos se pone a disposición de docentes, investigadores y, especialmente, asesores y administradores de la empresa agropecuaria, una herramienta que permite acelerar el aprendizaje y facilitar el proceso de toma de decisiones, y favorecer el acopio y la utilización de la información experimental.

### Metodología

Durante la realización del Proyecto (Evaluación ambiental para un manejo sostenible de la cuenca del río San Carlos y Tres Amigos) se realizó una recolección de muestras en 13 puntos de muestreo:

1. Javillo
2. Peje viejo
3. Platanar
4. Rafael
5. Koper
6. Peñas Blancas
7. Arenal
8. Wilson
9. Rueda
10. Paraíso
11. Providencia
12. Buenos Aires
13. Tres Amigos

El Proyecto se realizó en el cauce principal del río San Carlos, desde la desembocadura del río La Balsa hasta los primeros 500 metros después de la desembocadura del río Tres Amigos.

Para la recolección de muestras, se determinaron puntos en el cauce

principal en los primeros 500 metros de la desembocadura de cada uno de los cauces secundarios, donde se tomaron muestras cada mes desde agosto de 1998 hasta julio del año 2000 durante dos años. Las muestras fueron trasladadas a los laboratorios del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en Santa Clara de San Carlos, para ser analizadas en las veinticuatro horas siguientes.

Los parámetros determinados son: temperatura, oxígeno disuelto, pH, fosfatos, nitritos y nitratos.

Para los análisis de fósforo, nitrato y nitritos, se utilizó un colorímetro spectronic 20, según las técnicas descritas por la AOAC, (AOAC,1980). En la determinación del oxígeno disuelto se utilizó un electrodo conectado a la calculadora TI-92. Las determinaciones de pH se realizaron con peachímetro Cole-Palmer modelo 5985-80.

Para la realización del análisis de los datos obtenidos para las diferentes variables físico-químicas se utilizó el programa estadístico SPSS versión 10.0 para Windows.

### Resultados

#### Homogeneidad de varianzas

Esta prueba calcula el estadístico de Levene para contrastar la igualdad de las varianzas de grupo; no depende del supuesto de normalidad. Además, por medio de la prueba de homogeneidad de varianzas se determina la similitud que tiene las variables en los lugares de muestreo.

Excluir casos según lista. Se excluyen de todos los análisis los casos con valores perdidos para la variable de factor o para cualquier variable dependiente incluida en la lista de variables dependientes en el cuadro de diálogo principal. Si no se han especificado varias variables

dependientes, esta opción no surte efecto.

Una vez que se ha determinado que existen diferencias entre las medias, las pruebas de rango *post hoc* y las comparaciones múltiples por parejas permiten determinar qué medias difieren. Las pruebas de rango identifican subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí. Las comparaciones múltiples por parejas contrastan la diferencia entre cada pareja de medias y dan lugar a una matriz donde los asteriscos indican las medias de grupo significativamente diferentes a un nivel alfa de 0,05.

Cada grupo es una muestra aleatoria independiente procedente de una población normal. El análisis de varianza es robusto a las desviaciones de la normalidad, aunque los datos deberán ser simétricos. Los grupos deben proceder de poblaciones con varianzas iguales. Para contrastar este supuesto, se utiliza la

Variab Químicas	Prueba de Levene	Sig.
Od	1.911	.034
Temp	.795	.656
Ph	1.586	.097
Po	1.685	.071
No	5.447	.000

prueba de Levene de homogeneidad de varianzas.

Como se puede observar en el Cuadro anterior, las variables Od, ph, po tiene homogeneidad, es decir en los lugares de muestreo algunos tienen cierta similitud y, sin embargo, la temperatura no es homogénea en el transcurso de la investigación, pues la toma de la muestra en cada uno de los lugares de muestreo se realizó a diferentes horas del día.

### Prueba de Duncan

Además de determinar que existen diferencias entre las medias, es posible que se desee saber qué medias difieren. Existen dos tipos de contrastes para

comparar medias: los contrastes *a priori* y las pruebas *post hoc*. Los contrastes *a priori* se plantean antes de ejecutar el experimento y las pruebas *post hoc* se realizan después de haber llevado a cabo el experimento. También pueden contrastarse las tendencias existentes por medio de las categorías. Para cada grupo: número de casos, media, desviación típica, error típico de la media, mínimo, máximo, intervalo de confianza al 95% para la media. Prueba de Levene sobre la homogeneidad de varianzas, tabla de análisis de varianza para cada variable dependiente, contrastes *a priori* especificados por el usuario y las pruebas de rango y de comparaciones múltiples *post hoc*: Bonferroni, Sidak, diferencia honestamente significativa de Tukey, GT2 de Hochberg, Gabriel, Dunnett, prueba F de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch (R-E-G-W F), prueba de rango de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch (R-E-G-W Q), T2 de Tamhane, T3 de Dunnett, Games-Howell, C de Dunnett, prueba de rango múltiple de Duncan, Student-Newman-Keuls (S-N-K), Tukey b, Waller-Duncan, Scheffé y diferencia menos significativa.

Pruebas de Duncan para cada una de las variables físico químicas con respecto a los lugares de muestreo:

Od		
COD.OD	N	$P \leq 0.05$
6.00	23	11.2174
5.00	24	11.2750
3.00	24	11.3250
4.00	23	11.3478
7.00	24	11.3583
2.00	24	11.4458
1.00	23	11.4652
9.00	9	11.8333
13.00	14	11.8429
10.00	5	11.9000
8.00	14	11.9143
11.00	14	11.9214
12.00	15	11.9267
Sig.		.133

Se puede ver, al realizar el análisis estadístico, que el comportamiento de esta variable físico-química en la cuenca

es homogéneo; por tanto, se puede realizar el muestreo en solo un lugar.

<b>TEMP</b>							
COD. TEMP	N	P ≤ 0.05					
		1	2	3	4	5	6
1.00	23	22.8261					
2.00	24		23.8750				
3.00	24		24.3333	24.3333			
4.00	23			24.7391	24.7391		
6.00	23			24.7826	24.7826	24.7826	
5.00	24			24.9583	24.9583	24.9583	24.9583
7.00	24				25.3750	25.3750	25.3750
9.00	14				25.5000	25.5000	25.5000
10.00	14				25.5000	25.5000	25.5000
12.00	15				25.5333	25.5333	25.5333
13.00	15					25.6000	25.6000
11.00	14						25.6429
8.00	14						25.7143
Sig.		1.000	.213	.123	.062	.054	.081

<b>pH</b>				
COD. TEMP	N	P ≤ 0.05		
		1	2	3
1.00	23	22.8261		
13.00	15	6.3067		
9.00	14	6.3714	6.3714	
10.00	14	6.4000	6.4000	
12.00	15	6.4067	6.4067	
8.00	14	6.4643	6.4643	6.4643
11.00	14	6.4714	6.4714	6.4714
3.00	22	6.5500	6.5500	6.5500
5.00	22		6.5636	6.5636
2.00	22		6.5636	6.5636
6.00	21		6.6000	6.6000
7.00	22		6.6000	6.6000
4.00	21		6.6143	6.6143
1.00	21			6.6762
Sig.		.058	.070	.111

La prueba de Duncan no es válida para la temperatura, pues los lugares de muestreo no son homogéneos.

En la prueba de Duncan se puede determinar que el pH se puede agrupar en tres niveles.

**Fosfatos Po**

COD. TEMP	N	P ≤ 0.05			
		1	2	3	4
3.00	22	9.786E-02			
5.00	22	.1127			
2.00	22	.1216	.1216		
7.00	22	.1258	.1258		
4.00	22	.1273	.1273		
6.00	22	.1490	.1490		
1.00	22	.1698	.1698	.1698	
11.00	14		.1920	.1920	
10.00	14		.1985	.1985	
9.00	14			.2258	.2258
12.00	14			.2269	.2269
13.00	14			.2269	.2269
8.00	14				.2738
Sig.		.071	.052	.150	.207

**Nitratos No**

COD. TEMP	N	P ≤ 0.05				
		1	2	3	4	5
1.00	23	22.8261				
2.00	21	.2191				
1.00	21	.2727				
4.00	21	.2963				
5.00	21	.3646	.3646			
3.00	21	.3715	.3715			
6.00	21	.4110	.4110			
7.00	21	.4567	.4567	.4567		
13.00	14	.5126	.5126	.5126	.5126	
9.00	14		.6790	.6790	.6790	
12.00	14			.7689	.7689	.7689
11.00	14			.7870	.7870	.7870
8.00	14				.8419	.8419
10.00	14					1.0861
Sig.		.120	.084	.064	.064	.068

En la prueba de Duncan se puede determinar que el Po se puede agrupar en cuatro niveles.

Al realizar la prueba de Duncan se obtienen cinco grupos con características

Distribución de los diferentes grupos homogéneos en las variables físico químicas.

Grupo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>pH</b>	a			X					X	X	X	X	X	X
	b		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	c	X	X	X	X	X	X	X	X			X		
<b>Po</b>	a	X	X	X	X	X	X	X						
	b	X	X		X		X	X			X	X		X
	c	X								X	X	X	X	X
	d								X	X			X	X
<b>No</b>	a	X	X	X	X	X	X	X						
	b			X		X	X	X		X				X
	c							X		X		X	X	X
	d								X	X		X	X	X
	e								X		X	X	X	

Prueba de Duncan para determinar el comportamiento de los meses con las variables físico-químicas:

Grupo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Od</b>	a		X											
	b								X	X				
	c			X		X				X				
	d	X		X	X	X					X	X		
	e										X	X	X	X
	f						X						X	X
	g						X	X						
<b>Ph</b>	a	X					X	X	X	X	X			
	b	X	X			X			X	X	X			
	c		X	X		X				X	X			
	d		X	X		X							X	X
	e		X	X	X								X	X
<b>Po</b>	a	X	X	X						X	X			
	b			X	X				X	X	X	X	X	X
	c			X				X	X	X	X	X	X	X
	d			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	e													
<b>No</b>	a	X	X	X	X	X	X		X					
	b		X		X		X		X					X
	c				X		X		X	X				X
	d						X			X	X	X	X	X
	e							X		X	X	X	X	X
<b>Tmp</b>	a	X	X											X
	b		X	X										X
	c			X			X					X		
	d						X	X		X	X	X		
	e				X	X	X			X	X			
	f				X	X			X					

muy similares para realizar la muestra, es decir para cubrir los trece puntos de muestreo.

Por lo tanto, después de realizada la prueba se observa que se ve un comportamiento por sectores en la cuenca.

Se puede comprobar que, al realizar la prueba de homogeneidad de las variables físico químicas con respecto a los meses de muestreo, se determina que sus medias son casi idénticas o muy similares; por tal motivo, al realizar la prueba de Duncan se pueden agrupar los meses.

### Conclusiones

Al realizar un análisis estadístico-matemático de las variables físico-químicas analizadas en la cuenca del río San Carlos, se pueden crear modelos matemáticos, de tal manera que se puede facilitar el muestreo de la cuenca; es decir que, en lugar de tener trece puntos de muestreo, se puede reducir a cinco para cubrir toda la cuenca.

Además, al realizar una análisis de los datos obtenidos en cada uno de los meses del año con respecto a cada variable, se tiene una reducción solo en seis meses al año.

De esta manera, en los estudios que se realicen en la cuenca, se puede realizar un monitoreo continuo para determinar su estado en todo momento; además, algunas de las variables no hay que analizarlas en todo momento, pues su comportamiento es igual en todo el río.

### Bibliografía

- Arias, Dagoberto y Rodríguez, Lucía. "Mapa de Zonas Bioclimáticas de la Región Huetar Norte de Costa Rica". GTZ. COSEFORMA-MINAE, 1996.
- Blanco, M; Guerrero, H; Rodríguez, R. "Análisis físico-químico microbiológico y de fauna bentónica, Río Peje". Santa Clara, ITCR. Colegio Científico, Sede San Carlos, 1996.
- Comité Consultivo Permanente para el Desarrollo de los Recursos Forestales de la Región Huetar Norte: Marco Orientador para el análisis de los problemas y potencialidades de los recursos forestales de la Región Huetar Norte, Costa Rica. GTZ. COSEFORMA. 1996.
- Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y el Desarrollo. Protección y Suministro de Agua. 1992.
- Coto, J., Sánchez, V. Caracterización físico, química y biológica de los ríos de la Subregión de Heredia y estrategia para su recuperación. I Congreso de Ciencia y Tecnología Química. San José, Costa Rica. 1989.
- Molina, Jorge Rolando. San Carlos: El Marco político-administrativo, geográfico e histórico de la Región Huetar Norte. Ciudad Quesada, COOCIQUE R.L. 1996.
- Mora, G.B., et al. Informe final de diagnóstico socioambiental en el Valle de El Guarco". ITCR, Cartago, Costa Rica. 1988.
- Sánchez Hidalgo, Antonio. Datos básicos Región Huetar Norte. Ciudad Quesada, MIDEPLAN, 1989.
- Solís Porras, Róger. Determinación de la erosión hídrica y pérdida de nutrimentos en cítricos y pastos en la Región Huetar Norte (San Carlos) Tesis ITCR. Escuela de Agronomía. 1993.
- Whitton, B.A. "River Ecology". Blackwell Scientific Publications. Oxford London. 1975.