

# ANÁLISIS DEL NIVEL DE OXÍGENO DISUELTO EN EL AGUA EN VARIOS SITIOS DE UNA REPRESA

Elkin Castaño Vélez\*  
Jaime A. Palacio Baena\*

## RESUMEN

La concentración de oxígeno disuelto en el agua es una variable frecuentemente usada en el control de la contaminación y en el estudio del envejecimiento de los embalses. El seguimiento de esta variable permite establecer la evolución temporal y las diferencias espaciales en las condiciones ambientales de los embalses.

Para realizar el seguimiento de la concentración de oxígeno, se acostumbra seleccionar varias *estaciones* o *sitios* de interés en la represa y en cada estación se toman registros de las variables cada cierto tiempo. Del análisis de estos datos se desprenden las conclusiones sobre las condiciones en que se encuentra la represa. Ahora bien, las características de la recolección de los datos hacen que las técnicas estadísticas frecuentemente usadas, tal como el análisis de regresión clásico, no sean adecuadas debido a la *dependencia* que existe entre las observaciones de un mismo sitio. Este artículo propone el uso de los *modelos jerárquicos* (Mason, Wong y Entwistle, 1983; Bryck y Raundenbush, 1992) como una herramienta estadística útil para el análisis de esta clase de problemas.

La aplicación de esta metodología a mediciones sobre la superficie en 9 estaciones de la represa Punchiná mostró, entre otras cosas, que el nivel medio del oxígeno parece variar con la posición de la estación. Se encontró que la proporción de la variabilidad en la concentración del oxígeno disuelto explicada por la localización de las estaciones (y sus características) es del 25% aproximadamente.

## ABSTRACT

Water oxygen concentration is often used for the contamination control and to study the age of a reservoir. By following this variable we can determine the temporal evolution and the spatial differences in the environmental conditions of the reservoirs.

To carry out the analysis of the oxygen concentration, several sites are selected in the reservoir, and measures of the interest variable are taken at certain periods. The analysis of these data provides the conclusions about the reservoir conditions.

---

\* Profesores de la Universidad de Antioquia

Now, the characteristics of these data don't allow using techniques like classic regression analysis, because the dependence among the observations of a same site. This paper suggests the use of the Hierarchical Linear Models (Mason, Wong and Entwistle, 1983; Bryck and Raudenbush, 1992) as a useful statistical tool for the analysis of this kind of problems.

Its application on sample data for the surface of 9 sites of the Punchiná reservoir, showed that the mean level of the oxygen seems to change with the site position. We found that the proportion of the variance in oxygen concentration explained by the sites location was about 25%.

## INTRODUCCIÓN

En general, en las investigaciones limnológicas de los embalses en Colombia es común hacer un seguimiento permanente al nivel de concentración de oxígeno diluido en el agua y de algunas otras variables fisicoquímicas y biológicas relacionadas con ella.

Para realizar este seguimiento se determinan algunas estaciones de muestreo en distintos sitios de interés en el embalse y en cada uno se toman registros, cada cierto tiempo, de las variables relevantes. Los datos obtenidos por medio de este procedimiento de recolección de la información presentan características que los distinguen de una muestra estadística tradicional, pues en su diseño existen dos niveles de observación: *un nivel desagregado* dado por la medición de las variables de interés y otro *nivel agregado* dado por las estaciones localizadas sobre la represa. Cada estación recoge un número de observaciones que, en general, puede ser distinto para cada estación.

Una técnica estadística frecuentemente usada para estudiar el efecto de la localización de las distintas estaciones sobre el nivel de la concentración del oxígeno disuelto en el agua es la regresión lineal múltiple. Específicamente, si denotamos por  $y_i$  el nivel de la concentración del oxígeno disuelto en el agua, por  $x_i$  el vector que contiene información sobre las variables fisicoquímicas y biológicas relacionadas y por  $r_i$  un vector con variables dummy que indican la pertenencia de  $y_i$  a alguna de las estaciones, entonces es común encontrar que el nivel de la concentración de oxígeno disuelto en el agua esta determinado por la ecuación:

$$y_i = x_i' \beta + r_i' \gamma + \varepsilon_i \quad (1)$$

donde  $\varepsilon_i$  es un error aleatorio y  $\beta$  y  $\gamma$  son vectores de constantes que contienen los coeficientes de las variables explicativas usadas. Un supuesto adicional es considerar que los errores aleatorios  $\varepsilon_i$  siguen una distribución normal con media 0 y varianza constante  $\sigma^2$ .

Dado que los elementos en el vector  $\beta$  son fijos, el uso de una ecuación como la anterior supone que el efecto sobre el nivel de la concentración del oxígeno de cada una de las variables explicativas es constante en todas las estaciones y que la única diferencia en la determinación de dicho nivel está dada por el intercepto el cual varía para cada estación según sean los valores tomados por los elementos del vector  $\gamma$ . En otras palabras, el modelo supone que la estructura para la determinación del nivel de la concentración del oxígeno disuelto en términos de las variables explicativas es *la misma en todas las estaciones* y que si existen diferencias en el nivel de oxígeno entre estaciones, ellas se deben a otros *factores, distintos* a los mencionados en el vector  $x$  y que son capturados en los coeficientes de las estaciones contenidos en  $\gamma$ .

Sin embargo, estos supuestos pueden resultar muy restrictivos dada la posible heterogeneidad en las condiciones ambientales de cada región o estación. La veracidad de esta afirmación implicaría que no hay razón para suponer que existe sólo una estructura en términos de los factores relevantes que determinan el nivel de la concentración de oxígeno, y que existe por tanto un *efecto de estación* sobre la formación del nivel de la concentración de oxígeno que debería ser tenido en cuenta. Este hecho se podría reflejar en que los coeficientes de las regresoras en el modelo (1) no son constantes sino de naturaleza *estocástica*.

Si es posible mostrar que existe dicho efecto de estación, la estimación tradicional del modelo (1) sería *ineficiente* puesto que las observaciones dentro de cada estación son *estadísticamente dependientes* (Bryck y Raudenbush, 1992), además de que los términos de error en las distintas estaciones podrían tener *diferentes varianzas*.

El problema con el modelo (1) es que no ha usado toda la información disponible en la muestra, pues considera que la única unidad de observación es la medición individual del nivel de la concentración de oxígeno y de las variables relacionadas, cuando en realidad, los datos tienen dos niveles de observación: la medición individual (nivel micro) y la estación (nivel macro). Y estos niveles de observación están anidados en el sentido de que hay grupos de mediciones individuales que pertenecen, cada uno, a una única estación.

Una técnica estadística que utiliza toda la información mencionada es denominada la metodología de *Modelos Jerárquicos Lineales* (Mason, Wong y Entwistle, 1983; Bryck y Raudenbush, 1992). Mediante la aplicación de esta metodología se pueden resolver los interrogantes relacionados con la influencia de la ubicación de la estación y de las variables relacionadas sobre la concentración de oxígeno.

- Tiene la estación incidencia en la determinación del nivel de la concentración de oxígeno diluido en el agua? Qué tan fuerte es?
- Si se encuentra evidencia de que existe dicho efecto de estación, cómo se comportan las diferentes variables relacionadas en la formación del nivel de la concentración de oxígeno en la estación?
- Por otro lado, cuáles variables mantienen un efecto fijo en todas las estaciones?
- Cuáles son las características de la estación que hacen que las variables relacionadas con el nivel de la concentración de oxígeno cambien su efecto?

El orden de este documento es el siguiente: en la sección 1 se presenta el modelo jerárquico y un caso

particular muy importante llamado modelo de *Análisis de Varianza de una Vía con Efectos Aleatorios*; en la sección 2 se hace la aplicación de estos modelos a la información para la represa PUNCHINÁ.

## 1. El modelo Jerárquico Lineal

Supongamos que cada estación tiene una ecuación de regresión distinta y que varias estaciones son muestreadas. Entonces podemos suponer que los intersecciones y pendientes para las estaciones consideradas son una muestra aleatoria de la población de intersecciones y pendientes. Esto define los modelos de regresión de coeficientes aleatorios:

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} X_{1ij} + \dots + \beta_{Qj} X_{Qij} + r_{ij}$$

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \mu_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \mu_{1j}$$

.

.

.

$$\beta_{Qj} = \gamma_{Q0} + \mu_{Qj}$$

donde

- $Y_{ij}$  es la respuesta (el nivel de concentración del oxígeno diluido en el agua, en nuestro caso) de la  $i$ -ésima medición de la estación  $j$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, J$
- $X_{qij}$  es el valor de la  $q$ -ésima variable asociada a la medición  $i$  de la estación  $j$ ,  $q = 1, 2, \dots, Q$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, J$ .
- $\beta_{qj}$  es el coeficiente aleatorio de la  $q$ -ésima característica de la estación  $j$ ,  $q = 1, 2, \dots, Q$ ,  $j = 1, 2, \dots, J$ .
- $r_{ij}$  es el efecto aleatorio de la  $i$ -ésima medición individual en la unidad  $j$ . Se supone que son independientes y tienen distribución normal con media cero y varianza constante  $\sigma^2$ .
- $\mu_{qj}$  es el efecto aleatorio de la  $q$ -ésima característica en la estación  $j$ . Se supone que son independientes entre sí y de  $r_{ij}$  y tienen distribución conjunta normal  $(Q+1)$ -variada con vector de medias, ceros y matriz de covarianzas  $T = (\tau_{lm})$  donde

$\tau_{lm}$  = varianza( $\beta_{mj}$ ) si  $l=m$

$\tau_{lm}$  = covarianza( $\beta_{mq}, \beta_{lj}$ ) si  $l$  diferente de  $m$ . Las  $\tau_{lm}$  son llamadas componentes de varianza y covarianza del modelo.

En esta clase de modelos no hay posibilidad de incorporar variables de niveles más altos, es decir variables a nivel de estaciones que permitan explicar los cambios en los coeficientes. Por esta causa es necesario definir una nueva clase de modelos denominados modelos multinivel o jerárquicos, en los cuales el modelo de cada nivel es de nuevo otro modelo lineal. En el caso de dos niveles el modelo se puede escribir como

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} X_{ij} + \dots + \beta_{Qj} X_{Qij} + r_{ij},$$

$i = 1, 2, \dots, n_j, j = 1, 2, \dots, J$  (2)

$$\beta_{qj} = \gamma_{q0} + \gamma_{q1} W_{1j} + \gamma_{q2} W_{2j} + \dots + \gamma_{qsq} W_{sqj} + \mu_{qj} \quad (3)$$

para  $q = 0, 1, 2, \dots, Q$ ,

y donde:

$Y_{ij}$  es la respuesta del  $i$ -ésimo individuo de la unidad  $j$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_j, j = 1, 2, \dots, J$

$X_{qij}$  es el valor de la  $q$ -ésima característica del individuo  $i$  de la Unidad  $j$ ,  $q = 1, 2, \dots, Q$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_j, j = 1, 2, \dots, J$ .

$\beta_{qj}$  es el coeficiente aleatorio de la  $q$ -ésima característica de la unidad  $j$ ,  $q = 1, 2, \dots, Q, j = 1, 2, \dots, J$ .

$\gamma_{qs}$  es el coeficiente fijo que captura la influencia de la  $s$ -ésima variable predictora de la ecuación  $q$  de segundo nivel.

$r_{ij}$  es el efecto aleatorio del  $i$ -ésimo individuo en la unidad  $j$ . Se supone que son independientes y tienen distribución normal con media cero y varianza constante  $\sigma^2$ .

$\mu_{qj}$  es el efecto aleatorio de la  $q$ -ésima característica en la unidad  $j$ . Se supone que son independientes entre sí y de  $r_{ij}$  y tienen distribución conjunta normal  $(Q+1)$ -variada con

vector de medias cero y matriz de covarianzas

$T = (\tau_{lm})$ , donde

$\tau_{lm}$  = varianza( $\mu_{qj}$ ), si  $l = m$

$\tau_{lm}$  = covarianza( $\mu_{mq}, \mu_{lj}$ ), si  $l$  es diferente de  $m$ ,  $l, m = 0, 1, \dots, Q$

Así llegamos a una clase de modelos que tiene en cuenta la estructura jerárquica de los datos y que hace posible la incorporación de variables predictoras en todos los niveles. Este modelo es llamado *modelo jerárquico lineal de dos niveles*. La ecuación (2) es llamada modelo de primer nivel o de nivel micro, y las  $Q+1$  ecuaciones en (3) son llamadas modelo de nivel 2 o modelo de nivel macro.

En un modelo jerárquico se pueden estimar y contrastar hipótesis sobre tres tipos de parámetros: los efectos fijos (las  $\gamma_{qs}$ ), los coeficientes aleatorios del primer nivel (los  $\beta_{qj}$ ) y las componentes de varianza y covarianza (los  $\tau_{lm}$ ). Una descripción de los procedimientos de estimación empleados se encuentra en Bryck y Raudenbush (1992).

Un caso particular muy importante de los modelos jerárquicos es el modelo de *Análisis de Varianza de una Vía con Efectos Aleatorios*. Es el más simple de todos y su definición es la siguiente:

$$y_{ij} = \beta_{0j} + r_{ij} \quad (4)$$

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \mu_{0j} \quad (5)$$

Este modelo predice el nivel de la concentración del oxígeno diluido en el agua en cada medición individual del nivel 1 con el parámetro del nivel 2, es decir, el intersección  $\beta_{0j}$ . En este caso  $\beta_{0j}$  es la respuesta media (la media de la concentración del oxígeno en el agua) de la  $j$ -ésima estación. Es decir  $\beta_{0j} = u_{yj}$ .

En el modelo de nivel 2,  $\gamma_{00}$  representa la gran media de la respuesta en la población, y  $\mu_{0j}$  es el efecto aleatorio asociado a la  $j$ -ésima estación.

El modelo combinado es

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \mu_{0j} + r_{ij}$$

el cual es claramente un modelo de análisis de varianza de una vía con una gran media  $\gamma_{00}$ , con un efecto de grupo (nivel 2)  $\mu_{0j}$ , y un efecto de individuo (nivel 1)  $r_{ij}$ .

Obsérvese que la varianza de la respuesta es  $\text{var}(Y_{ij}) = \text{var}(r_{ij} + \mu_{0j}) = \tau_{00} + \sigma^2$

Este es el resultado más importante que proporciona el modelo, pues informa cómo se descompone la variabilidad total de la respuesta en términos de las variabilidades de cada uno de los niveles. El parámetro  $\sigma^2$  representa la variabilidad dentro de las regiones y  $\tau_{00}$  captura la variabilidad entre las regiones.

Un parámetro muy útil asociado a este modelo y derivado de la igualdad anterior es el *coeficiente de correlación intraclase, definido como:*

$$\rho = \tau_{00} / (\sigma^2 + \tau_{00})$$

$\rho$  mide la proporción de la varianza de la concentración del oxígeno diluido en el agua que es explicada por el nivel 2 (las regiones).

La confiabilidad de la media muestral del logaritmo natural del ingreso en la región  $j$ , como estimador de la verdadera media del logaritmo natural del ingreso  $\beta_{0j}$ , se define como

$$\lambda_j = \text{conf}(\text{media muestral}_j) = \text{Var}(\beta_{0j}) / \text{Var}(\text{media muestral}_j) =$$

$$\tau_{00} / (\tau_{00} + \sigma^2/n_j)$$

Un estimador se obtiene reemplazando  $\tau_{00}$  y  $\sigma^2$  por sus estimadores.  $\lambda_j$  toma valores entre 0 y 1 y mientras más cerca esté de 1 mayor confiabilidad tendrá la media muestral. En general, la confiabilidad varía de región a región debido a que el tamaño muestral  $n_j$  varía. Una medida global de la confiabilidad es el promedio de las confiabilidades  $\lambda_j$ ,  $\lambda = \sum \lambda_j / J$ .

## 2. Aplicación

Como se señaló anteriormente, el modelo jerárquico lineal se aplicó a los datos obtenidos por ISAGEN

sobre nueve estaciones en el embalse de Punchiná y sus tributarios. La identificación de las estaciones es la siguiente :

- Estación 1: Cola del río Guatapé
- Estación 2: Cola del río San Carlos
- Estación 3: Sitio de presa Punchiná
- Estación 4: Zona media
- Estación 5: Río Guatapé balseadero
- Estación 6: Río San Carlos
- Estación 7: Río Samaná arriba
- Estación 8: Río Samaná abajo
- Estación 9: Casa de máquinas canal fuga

El primer interrogante que se buscó resolver fue si existía evidencia de que las estaciones tienen su propio efecto en la determinación del nivel de la concentración del oxígeno disuelto en el agua. Como se dijo antes, si este efecto no existe el modelo (1) podría ser apropiado.

Para tratar de dar solución a esta pregunta se empleó el modelo jerárquico de análisis de varianza de una sola vía con efectos aleatorios, dado por (4) y (5). La significancia estadística del estimador de  $\tau_{00}$  puede ser contrastada y el rechazo de la hipótesis  $H_0: \tau_{00} = 0$  indica que las características del sitio afectan el nivel del oxígeno disuelto.

A continuación se presentan los resultados para este modelo:

### Regresiones OLS del Nivel-1

Unidad de Nivel-2	INTRCPT1
1	7.46875
2	7.42353
3	7.75385
4	7.77083
5	7.54800
6	7.63077
7	8.56000
8	8.37368
9	8.15000

Las anteriores son las estimaciones mínimo cuadráticas de los niveles medios de oxígeno en cada estación, y nos dan una idea sobre la variabilidad de la concentración media del oxígeno en cada estación. El promedio de ellas es 7.85327, el cual es una estimación del nivel medio general de la concentración de oxígeno.

Una estimación de la confiabilidad promedia de los estimadores de mínimos cuadrados como estimadores de los verdaderos nivel es medios de oxígeno disuelto en cada estación está dada por 0.875. Esta indica que, en general, las estimaciones promedias de la concentración del oxígeno en las distintas estaciones son confiables.

### Estimación efectos de los efectos fijos.

Efecto Fijo	Coficiente	Error Estándar	Cociente-T	Valor-P
Para el intersección $\beta_{0j}$ INTERSECCIÓN, $\gamma_{00}$	7.852617	0.135687	57.873	0.000

### Estimación de las componentes de varianza:

Efecto aleatorio	Desviación Estándar	Componente Varianza	gl	Chi-cuadrado	Value-P
INTERSECCIÓN, $\mu_{0j}$ Nivel-1,	0.38070 $r_{ij}$ 0.65448	0.14493 0.42834	8	61.30539	0.000

Coficiente de correlación intraclass  $\rho$  (estimado) = 0.2528

De los resultados anteriores podemos concluir que:

- El nivel medio del oxígeno parece variar con las estaciones.
- La variabilidad del nivel del oxígeno disuelto explicada por las estaciones es 0.14493. Esta variabilidad es estadísticamente diferente de cero.
- La proporción de la variabilidad en el oxígeno disuelto explicada por las características de las estaciones (coeficiente de correlación intraclass) es del 25% aproximadamente.
- Una estimación del nivel promedio general del oxígeno disuelto es 7.852617 con un error estándar de 0.135687. Un intervalo del 95% de confianza para el nivel promedio general del oxígeno disuelto en el agua es (7.587, 8.119) aproximadamente.

Dado que el nivel promedio de oxígeno diluido parece variar con la estación, la siguiente pregunta de interés podría ser: cómo varía la relación del nivel de concentración del oxígeno diluido en agua con otras variables de nivel micro (disponibles en la base de datos) tales como la temperatura (TEMP), los sólidos disueltos en el agua (SOLITOT), la temporada del

año (E) y antigüedad de la represa (MESES) y con la variable de nivel macro definida como la localización de la estación (LENT3) la cual es una variable dummy que toma el valor de uno si la estación está ubicada en un río y de cero en otro caso (cola de río o presa). En síntesis se trata de establecer si las variables de nivel micro mantienen un efecto fijo sobre el nivel del oxígeno en todas las estaciones o existen variables que cambian su efecto según la estación (tienen efectos aleatorios. Si existen efectos aleatorios, algunos de ellos pueden ser explicados por la localización de la estación (en aguas en movimiento o en aguas en quietud).

Para responder estas preguntas se propone hacer uso de los modelos lineales jerárquicos de dos niveles definidos como:

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} X_{1ij} + \dots + \beta_{Qj} X_{Qij} + r_{ij} \quad (6)$$

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01} W_{1j} + \dots + \gamma_{0sq} W_{sqj} + \mu_{0j} \quad (7)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \mu_{1j}$$

.

$$\beta_{Qj} = \gamma_{Q0} + \mu_{Qj}$$

donde

$Y_{ij}$  es el nivel de oxígeno en la i-ésima medición de la estación j,  $i = 1, 2, \dots, n_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 9$

$X_{qij}$  es el valor de la q-ésima característica de la medición i en la estación j, centrada con respecto a la media de la estación,  $q = 1, 2, \dots, Q$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 9$ .

$\beta_{qj}$  es el coeficiente aleatorio de la q-ésima característica de la estación j,  $q = 1, 2, \dots, Q$ ,  $j = 1, 2, \dots, 9$ .

$r_{ij}$  es el efecto aleatorio en la i-ésima medición en la estación j. Se supone que son independientes y tienen distribución normal con media cero y varianza constante  $\sigma^2$ .

$\gamma_{q0}$  es el intersección o efecto fijo de  $\beta_{qj}$ ,  $q = 1, 2, \dots, Q$

$\gamma_{0s}$  son las pendientes de las variables predictoras del nivel medio del oxígeno en el nivel 2,  $s = 1, 2, \dots, s_q$ .

$\mu_{Qj}$  es el efecto aleatorio de la q-ésima característica en la estación j. Se supone que son independientes entre sí y de  $r_{ij}$  y tienen distribución conjunta normal (Q+1)-variada con vector de medias ceros y matriz de covarianzas  $T = (\tau_{lm})$  donde

$\tau_{lm} = \text{varianza}(\mu_{mj})$  si  $l = m$

$\tau_{lm} = \text{covarianza}(\mu_{mj}, \mu_{lj})$  si l diferente de m

Las  $\tau_{lm}$  son llamadas componentes de varianza y covarianza del modelo .

(Se llegó a esta clase de modelos después de experimentar con varias especificaciones):

Después de correr el modelo anterior se llegó a la conclusión de que las variables predictoras para el nivel de oxígeno parecen tener un efecto fijo y que solamente  $\beta_{0j}$ , el nivel medio del oxígeno, parece ser aleatorio (esta conclusión se basa en el hecho de que el contraste de hipótesis  $H_0: \tau_{mm} = 0$ , no se rechaza para  $j = 1, 2, 3, 4$  y se rechaza para  $j = 0$ ).

Con esta información se ajustó el modelo de la forma:

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} X_{1ij} + \dots + \beta_{Qj} X_{Qij} + r_{ij} \quad (8)$$

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01} W_{1j} + \dots + \gamma_{0sq} W_{sqj} + \mu_{0j} \quad (9)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10}$$

.

$$\beta_{Qj} = \gamma_{Q0}$$

Los siguientes son los resultados obtenidos después de correr el modelo para las variables predictoras mencionadas.

**Estimación de los efectos fijos:**

Efecto Fijo	Coefficiente	Error Estándar	Cociente-T	Valor-P	
Para INTRCPT1,	$\beta_{0j}$				
INTRCPT2,	$\gamma_{00}$	7.597863	0.131928	57.591	0.000
LENT3,	G01	0.573543	0.198149	2.895	0.024
Para E3	$\beta_{1j}$				
INTRCPT2, $\gamma_{10}$	-0.5338500	0.172355	-3.097	0.019	
Para MESES,	$\beta_{2j}$				
INTRCPT2,	$\gamma_{20}$	-0.002083	0.001252	-1.664	0.140
Para TEMP,	$\beta_{3j}$				
INTRCPT2,	$\gamma_{30}$	-0.131588	0.033266	-3.956	0.007
Para SOLITOT,	$\beta_{0j}$				
INTRCPT2,	$\gamma_{40}$	-0.000978	0.000374	-2.614	0.035

**Estimación de las componentes de varianza:**

Efecto Aleatorio	Desviación Estándar	Componente Varianza	gl	Chi-cuadrado	Valor-P
INTRCPT1, $\mu_{0j}$	0.26388	0.06963	7	37.40691	0.000
Nivel-1, $r_{ij}$	0.60300	0.36361			

De los resultados anteriores concluimos que:

- Las variables E, TEMP, SOLITOT y MESES parecen tener una relación fija y negativa con el nivel del oxígeno disuelto en el agua. Por lo tanto, a medida que ellas aumentan, el nivel del oxígeno disuelto en el agua tiende a disminuir. La conclusión sobre la significancia de la variable MESES no es muy fuerte, su valor p es de 0.14. Sin embargo, se mantuvo en el modelo debido a su interpretación, que indica un deterioro en el nivel de oxígeno a través del tiempo.

- El nivel medio del oxígeno parece estar influenciado por la localización de la estación: Las estaciones que se encuentren en el río, pero no en la cola, parecen tener niveles medios de oxígeno mayores que estaciones localizadas en la presa y la cola del embalse.

### 3. CONCLUSIONES

El reconocimiento de que en muchos casos las observaciones empleadas en la evaluación de la contaminación y en el estudio del envejecimiento de los embalses responden a un diseño muestral jerárquico, nos permiten usar los modelos multinivel o modelos de regresión jerárquicos los cuales son capaces de resolver con propiedad un conjunto de

hipótesis más amplio de lo que permite el modelo de regresión clásico.

En este trabajo se analizaron los datos sobre la superficie obtenidos para nueve estaciones localizadas en la represa Punchiná y se encontró, entre otras cosas, que aproximadamente el 25% de la variabilidad en el nivel del oxígeno disuelto en el agua se debe a las características de las estaciones. Además se encontró que variables relacionadas con el nivel de oxígeno, como la temperatura, la concentración de sólidos, la estación y la antigüedad de la represa mantienen un efecto fijo sobre el nivel del oxígeno en todas las estaciones y que la variabilidad en los niveles de oxígeno en las estaciones están asociadas con la localización de la estación en la represa.

### BIBLIOGRAFIA

1. BRYCK, A.S. and Raudenbush, S.W. (1992) 'Hierarchical linear Models', Sage Publications: London.
2. HLM, Hierarchical Linear and Nonlinear Modeling with the HLM/2L and HLM/3L Programs (1996), Scientific Software International Inc.: Chicago.
- 3 MASON, W. M., Wong, G.M. and Entwistle, B. (1983) "Contextual Analysis Through the Multilevel Linear Model". En S. Leinhardt (Ed.), Sociological Methodology (pp. 72-103). San Francisco: Jossey-Bass.

## NORMAS PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

1. Presentar trabajos inéditos de preferencia en español.
2. Los trabajos no pueden exceder de 30 páginas, tamaño carta a doble espacio.
3. Acompañar el artículo con un resumen (abstract) no mayor de 15 renglones tanto en español como en inglés, que sintetice su contenido.
4. Agradecemos la colaboración para la ambientación del artículo con el aporte de fotografías e ilustraciones con que se quiere acompañarlo, y los cuerpos de texto a resaltar.
5. Anexar los datos del autor: Nombre, número de fax o correo electrónico, nombre de la institución donde labora y curriculum breve, para reconocimiento de los créditos respectivos.
6. Entregar impresión del original y el disquete correspondiente en procesador de texto, compatible con Word de Microsoft.
7. Presentar las citas, referencias bibliográficas y hemerográficas al final del artículo bajo el siguiente formato:
  - a. Las referencias bibliográficas y notas deberán presentarse numeradas en la forma siguiente: apellido y nombre del autor, título de la obra en cursiva, edición, lugar de edición, editorial, año de edición y páginas de referencia. Ejemplo:  
FOUCAULT, Michel. *Un diálogo sobre el poder*. Madrid. Alianza 1981. P. 135
  - b. Presentar las referencias hemerográficas en el siguiente orden: Apellido y nombre del autor, título del artículo entre comillas, nombre de la revista o periódico en cursivas, volumen (si lo hay), número, lugar de edición, fecha de publicación, página de referencia. Ejemplo.  
SALCEDO, Salomón. "Política agrícola y maíz en México: hacia el libre comercio norteamericano"  
En: *Comercio Exterior*. Vol. 43 No. 4 México D.F. abril de 1993.
  - c. En caso de que las referencias bibliográficas o hemerográficas tengan más de dos autores usar el formato siguiente: nombre del autor que aparezca en primer lugar, seguida de la expresión latina et - al (que significa "y otros") en cursiva y continuando con los formatos ya referidos para bibliografía y hemerografía.
8. Las notas de pie de página deberán contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.
9. Si desea resaltar palabras o frases en el texto, usar de referencia letra cursiva.
10. Cuando se empleen siglas o abreviaturas, anotar primero la equivalencia completa seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis y en lo subsecuente escribir sólo la sigla o abreviatura respectiva.
11. La Revista recibe, revisa y envía los trabajos al dictamen del Comité Editorial, de cuyo criterio depende su publicación, con base en el concepto de evaluadores especializados.
12. Los originales se conservarán como parte del archivo de la Revista.
13. Al autor se le entregarán cuatro ejemplares de la Revista, en la cual aparece su artículo.
14. La recepción de un trabajo no implica obligación para su publicación, ni compromiso con respecto a su fecha de aparición.
15. Los juicios emitidos por los autores en los artículos son de su entera responsabilidad, en consecuencia no comprometen a la Universidad en general, ni a la Facultad de Ingeniería, ni al Comité Editorial.
16. La fecha límite de envío de trabajo para la edición No. 18 de REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA será el 15 de febrero del 2000.
17. Favor enviar la colaboración a:

REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
Universidad de Antioquia  
Ciudad Universitaria, Bloque 21, Oficina 431. Medellín.  
Tel: 210 55 30 Apartado Aéreo: 1226  
Correo Electrónico: Revista@nutibara.udea.edu.co

# **CENTRO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES Y DE INGENIERIA, C.I.A.**

**SERVICIOS EN INVESTIGACION, ASESORIA Y CONSULTORIA**

**Control de calidad de aguas.**

**Estudios de suelos, sedimentos, lodos y desechos sólidos**

**Estudios hidrológicos**

**Control de calidad del aire en ambientes internos y externos**

**Análisis en muestras biológicas de alimentos**

**Estudios de declaración de impacto ambiental**

**Planificación y ordenamiento del territorio**

**Planes de desarrollo**

**Estudios de optimización de procesos, ahorro de energía y**

**reutilización de desechos**



**CIUDAD UNIVERSITARIA Calle 67 No. 53 - 108  
Facultad de Ingeniería - Bloque 21 oficinas 103 - 105  
Tel. 210 55 10, 210 55 09; Fax 211 90 28**



# CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA



## CESET

FERIA Y SEMINARIO  
INTERNACIONAL



GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
SÓLIDOS Y PELIGROSOS, SIGLO XXI

9-12 DE NOVIEMBRE

PALACIO DE EXPOSICIONES  
MEDELLÍN

“IV JORNADAS LATINOAMERICANAS Y IBEROAMERICANAS EN ALTA TENSION Y AISLAMIENTO ELÉCTRICO” ALTAE'99

14 al 16 de octubre de 1999

Hotel Dan Carlton

### DIPLOMAS Y CURSOS DE EXTENSIÓN QUE REALIZAMOS ACTUALMENTE:

#### •DIPLOMA EN FINANZAS

Gestión Financiera a corto plazo

Gestión Financiera a largo plazo

#### •DIPLOMA EN ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN ISO 9000 Y ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL EN ISO 14000

#### •DIPLOMA EN GESTIÓN AMBIENTAL

#### •DIPLOMA EN PINTURAS ANTICORROSIVAS

#### •CURSO INTERNACIONAL DE AUDITOR LÍDER ISO 9000

#### •CURSO INTERNACIONAL DE AUDITOR LÍDER EN ISO 14000

#### •SEMINARIO DE GERENCIA LOGÍSTICA PARA LA EXPORTACIÓN

#### •SENSIBILIZACIÓN A LA INVESTIGACIÓN

#### •FORMACIÓN EN ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN ISO 9000

# **CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA**

## **UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - FACULTAD DE INGENIERÍA**

Somos un centro especializado en educación continuada, actualización y capacitación en los diferentes temas relacionados con la ingeniería y sus áreas afines

Nos preocupamos por llevar a nuestro público programas de extensión , en la modalidad de cursos, seminarios, foros, talleres y eventos similares, dirigidos preferiblemente a personas con formación superior.

Adelantamos programas de proyección de la Facultad de Ingeniería a través de convenios institucionales y de relaciones con el sector productivo.

Organizamos seminarios, congresos, diplomados, y cursos de actualización según las necesidades de Empresas o Instituciones de la región del país.

Nuestras actividades buscan rebasar el ofrecimiento de cursos aislados y por eso estamos planeando ofrecer ciclos de capacitación en diferentes temas, por cuya participación podamos otorgar una acreditación equivalente a un diplomado, en lugar de un certificado de asistencia por cada curso individual.

Contamos con conferencista altamente calificados y de reconocida experiencia, entre los profesores de la Facultad y con expertos que podemos contactar según las necesidades.

Somos conscientes de la seriedad y el cuidado que requiere cada uno de nuestros eventos. Por eso hemos conformado un equipo de trabajo capacitado en la organización y ejecución de estas actividades. Disponemos de auditorios especialmente dotados, con equipos audiovisuales y con salas de microcomputadores en nuestra Facultad y en otras dependencias universitarias.

Gustosamente atendemos las inquietudes y solicitudes de personas e instituciones que requieran capacitación en estas áreas.

## **CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA**

**Bloque 21 Oficina 134**

**Teléfonos 2105515 - 2105517 Telefax 2105518**

**e-mail: [ceset@jaibana.udea.edu.co](mailto:ceset@jaibana.udea.edu.co)**

# REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA

## CUPÓN DE SUSCRIPCIÓN

Suscripción y factura a nombre de: \_\_\_\_\_

Dirección de envío: \_\_\_\_\_

Tel. \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

Residencia: \_\_\_\_\_ Oficina: \_\_\_\_\_

Ciudad: \_\_\_\_\_ País: \_\_\_\_\_

Suscripción a partir del número: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Cheque N° \_\_\_\_\_ Banco: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_

Efectivo: \_\_\_\_\_

### Valor de la suscripción (4 números):

\* Colombia ..... \$14.000

\* Exterior ..... US\$ 50

## IMPORTANTE:

Todo pago se hace a nombre de: Universidad de Antioquia - CIA -, Centro de Costo 8703.

Para su comodidad, usted puede cancelar en cheque y enviarlo al A.A. 1226 o consignar el valor de la suscripción en la Cuenta Nacional No. 180-01077-9 del Banco Popular, en cualquier oficina del país, a nombre de la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA -CIA-, Centro de Costo 8703.

Si usted paga por este sistema, debe sacar una fotocopia del recibo de consignación y enviarla junto con la suscripción.

NOTA: Los precios en dólares incluyen el valor del correo y la transferencia.

La fecha límite de entrega de artículos para el próximo número, será el 15 de febrero del 2000.

*Esta Revista se terminó de imprimir  
en el mes de septiembre de 1999  
en los talleres gráficos de  
**LITOGRAFÍA FELIPE**  
Carrera 80 No. 49-57  
Telefax: 234 25 94  
Medellín - Colombia*

# REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA

## CUPÓN DE SUSCRIPCIÓN

Suscripción y factura a nombre de: \_\_\_\_\_

Dirección de envío: \_\_\_\_\_

Tel. \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

Residencia: \_\_\_\_\_ Oficina: \_\_\_\_\_

Ciudad: \_\_\_\_\_ País: \_\_\_\_\_

Suscripción a partir del número: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Cheque N° \_\_\_\_\_ Banco: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_

Efectivo: \_\_\_\_\_

### Valor de la suscripción (4 números):

\* Colombia ..... \$14.000

\* Exterior ..... US\$ 50

## IMPORTANTE:

Todo pago se hace a nombre de: Universidad de Antioquia - CIA -, Centro de Costo 8703.

Para su comodidad, usted puede cancelar en cheque y enviarlo al A.A. 1226 o consignar el valor de la suscripción en la Cuenta Nacional No. 180-01077-9 del Banco Popular, en cualquier oficina del país, a nombre de la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA -CIA-, Centro de Costo 8703.

Si usted paga por este sistema, debe sacar una fotocopia del recibo de consignación y enviarla junto con la suscripción.

NOTA: Los precios en dólares incluyen el valor del correo y la transferencia.

La fecha límite de entrega de artículos para el próximo número, será el 15 de febrero del 2000.

*Esta Revista se terminó de imprimir  
en el mes de septiembre de 1999  
en los talleres gráficos de  
**LITOGRAFÍA FELIPE**  
Carrera 80 No. 49-57  
Telefax: 234 25 94  
Medellín - Colombia*