

Estudio de la carga salina de las aguas del Valle del Río Yeguaré (Honduras)¹

Diego L. Orihuela², Wilfredo Colón³, Emilio Romero² y Michael D. Lee³

Resumen: La Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, a través de sus Departamentos de Agronomía y Recursos Naturales y Conservación Biológica ha puesto en marcha una red de monitoreo de las aguas de riego en el valle del Río Yeguaré. La red tiene 27 puntos de muestreo representativos del rango de condiciones en el valle. Los resultados de este estudio demuestran que las aguas que usa Zamorano tienen una buena calidad para uso agrícola, sin que se presente ningún problema de fitotoxicidad debido a su carga salina, ni se necesitan medidas correctivas.

Palabras claves: Calidad de agua, conductividad eléctrica, análisis de agua.

Abstract: The Panamerican School of Agriculture, Zamorano, through its departments of Agronomy and Natural Resources and Conservation Biology have begun to establish an irrigation water monitoring network in the Yeguaré River Valley. The network includes 27 sampling locations that are broadly representative of the range of conditions in the valley. The results of this study show that irrigation water sources used by Zamorano are of high quality for agricultural use, and do not present salinity related phytotoxicity risks and do not need corrective measures.

Key words: Water quality, electrical conductivity, water analysis.

INTRODUCCION

El agricultor usa las aguas de riego sin tener en cuenta la calidad de éstas (SRN, 1993). En el cálculo de las dotaciones de riego el agricultor y a veces el técnico ignoran que la calidad de las aguas, medida por su carga salina entre otros parámetros, es imprescindible para el cálculo de dichas dotaciones (Ayers y Wescot, 1985). El uso continuo de aguas con muchas sales puede reducir el rendimiento de los cultivos y arruinar los suelos, siendo su recuperación a veces difícil y costosa. En el valle de Comayagua se abandonaron 56 ha por una acumulación de sales en el suelo (Carlos Ramos, comunicación personal 1995). Esto se pueden prevenir con el conocimiento de la

carga salina del agua y el uso de prácticas agronómicas para reducir la carga salina en los suelos.

Zamorano y los agricultores particulares usan muchas fuentes de agua para riego. Se incluye agua transportada por tubería de los manantiales de las montañas, las quebradas afluentes y el Río Yeguaré, lagunas artificiales que recargan con agua subterránea de poca profundidad y agua subterránea de pozos de hasta 30 m de profundidad. No existe un estudio de la calidad de estas fuentes ni de los problemas de fitotoxicidad o empobrecimiento de suelos para los usuarios.

Para mejorar el conocimiento de la calidad de agua para riego en el Valle del Río Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras, y particularmente en el

¹ Departamento de Agronomía de Zamorano (Publicación No. AG-9604), con el apoyo de INTERCAMPUS/AECI, Gobierno de España.

² Catedrático y Profesor Titular, respectivamente del Grupo Hidrogeología y Medio Ambiente, Universidad de Huelva, España.

³ Profesores Asociados en los Departamento de Agronomía y de Recursos Naturales y Conservación Biológica, respectivamente, de Zamorano.

área que pertenece a Zamorano, se estableció una red preliminar de monitoreo para implementar un análisis de caracterización en base a normas de calidad internacional recomendadas para el riego de los cultivos.

Los objetivos de este estudio consistieron en:

1. Establecer una red de puntos de muestreo, o red de monitoreo.
2. Recomendar una metodología apropiada para establecer un programa de monitoreo permanente en el Valle del Río Yeguaire, basado en estos resultados.

topográficos del área y escoger los puntos que presentaron mayor interés y representación espacial del agua en el valle (Figura 1). Al cabo de este estudio se escogieron 27 puntos de toma de muestras sobre:

- a) Pozos que tienen una utilización para consumo humano y posible utilidad agrícola.
- b) Quebradas y ríos que estén afectados por actividades de consumo humano y extracción de aguas para el riego.
- c) Lagunas o embalses que son utilizados para el riego.

MATERIALES Y METODOS

El primer paso consistió en estudiar los mapas

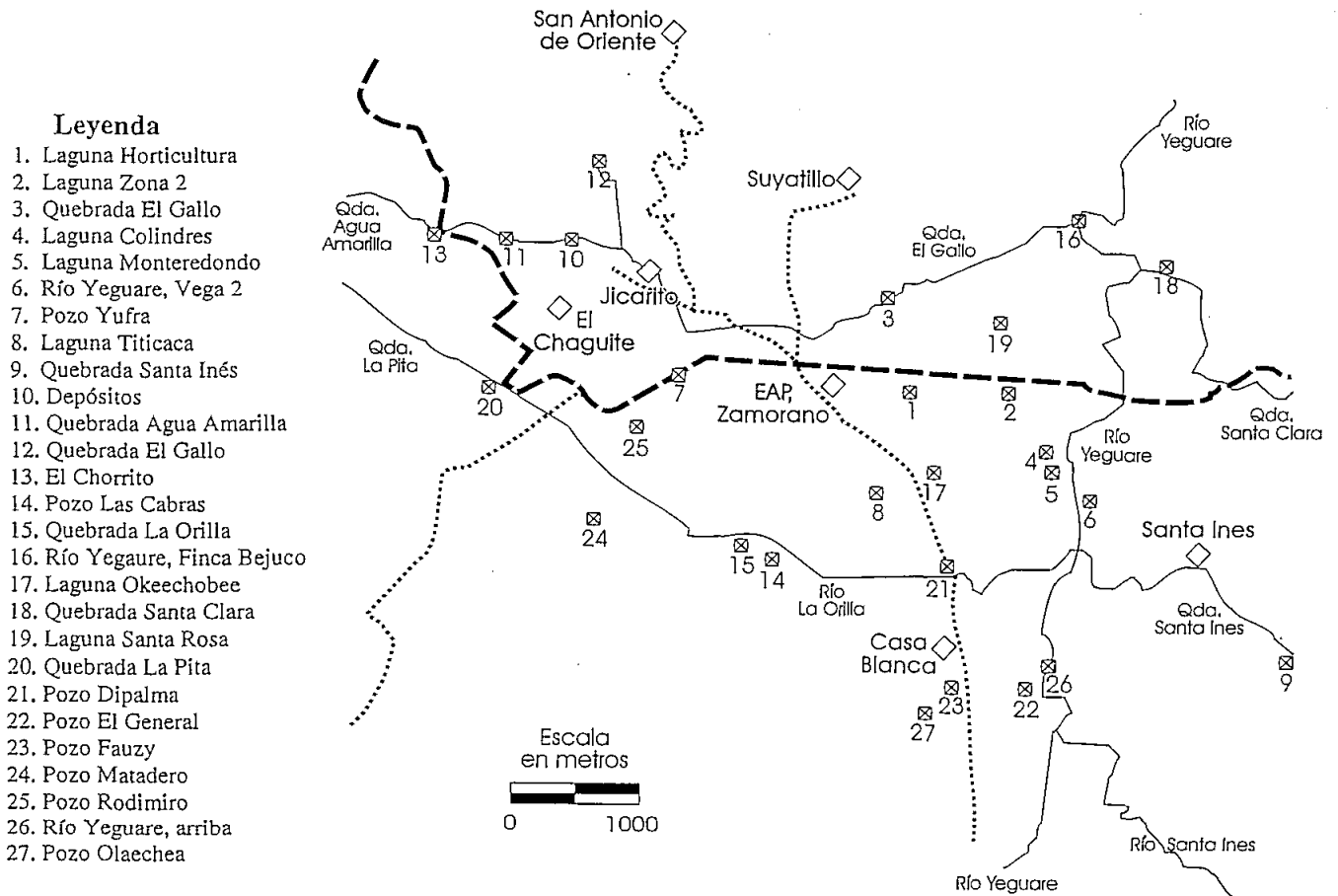


Figura 1. Mapa del Valle del Río Yeguaire mostrando los puntos de la red de monitoreo.

Las muestras de agua se tomaron en botes de plástico de 500 ml de capacidad. Las muestras fueron enfriadas a 4° C hasta su valoración analítica. La toma de muestras se realizó en agosto de 1995, que corresponde a la época lluviosa. Se analizaron los siguientes parámetros e iones del agua de cada muestra: pH, conductividad eléctrica, sales totales, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, SO₄⁻², Cl⁻, CO₃, HCO₃, en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Agronomía. Los cationes se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, los carbonatos y bicarbonatos por titulación ácido-base, los sulfatos por turbidimetría y los cloruros por titulación con nitrato de plata (Stednick, 1991). Las determinaciones de nitratos se

realizaron por el método colorimétrico en el Centro de Estudios de Calidad y Contaminación (CESCCO), un laboratorio del gobierno de Honduras.

Los resultados fueron analizados con el programa AGUA (Orihuela *et al.*, 1994) para la determinación de calidad para el riego. Se determinaron los siguientes parámetros e índices: relación de absorción de sodio (SAR), SAR ajustado, dureza, índices de Eaton y Scott, normas de Riverside, Wilcox y Tamés, así como de toxicidades específicas tales como del cloruro. Con el programa SPSS se llevaron a cabo los análisis estadístico.

Cuadro 1. Valores de las analíticas realizadas en 27 puntos en el Valle de Zamorano. Los valores de los iones están expresados en mg/L.

Sitio	Lugar	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	pH	C.E. ^a
1	Laguna Horticultura	0.00	1.74	0.29	0.71	0.18	0.60	1.93	0.28	6.72	260
2	Laguna Zona 2	0.00	1.35	0.24	0.49	0.20	0.20	1.94	0.24	6.74	236
3	Quebrada El Gallo, Horticultura	0.01	1.18	0.22	0.85	0.20	1.00	1.04	0.32	6.93	220
4	Laguna Colindres	0.00	3.61	0.79	1.14	0.43	0.30	5.15	0.70	6.47	597
5	Laguna Monteredondo	0.00	0.86	0.39	1.60	0.62	2.00	0.38	0.96	7.77	320
6	Río Yeguaré, Vega 2	0.00	0.17	0.08	0.36	0.13	0.50	0.15	0.10	7.44	74
7	Pozo Yufra	0.03	0.68	0.24	0.66	0.27	0.20	1.31	0.32	4.60	197
8	Lago Titicaca	0.01	1.05	0.31	1.03	0.29	1.00	0.94	0.68	7.42	250
9	Quebrada Santa Inés	0.00	0.06	0.05	0.20	0.10	0.30	0.09	0.10	7.25	36
10	Depósitos	0.03	0.13	0.08	0.20	0.10	0.10	0.28	0.20	4.24	64
11	Quebrada Agua Amarilla	0.14	0.73	0.35	0.33	0.25	0.00	4.87	0.34	3.01	736
12	Quebrada El Gallo	0.00	1.96	0.23	0.46	0.12	0.80	2.00	0.08	7.21	276
13	El Chorrillo	0.01	0.10	0.06	0.20	0.10	0.10	0.20	0.20	5.30	50
14	Pozo Las Cabras	0.00	1.11	0.44	0.63	0.15	1.40	0.66	0.32	6.42	231
15	Quebrada La Orilla	0.01	1.19	0.28	0.77	0.22	1.40	0.51	0.44	7.34	197
16	Río Yeguaré, Finca Bejuco	0.00	0.19	0.08	0.36	0.13	0.60	0.14	0.10	7.34	79
17	Laguna Okeechobee	0.01	0.91	0.38	0.77	0.32	1.00	0.76	0.70	7.23	236
18	Quebrada Santa Clara	0.03	0.06	0.03	0.20	0.09	0.20	0.10	0.10	7.08	41
19	Laguna Santa Rosa	0.01	0.55	0.14	0.55	0.20	0.80	0.43	0.24	7.05	148
20	Quebrada La Pita	0.00	0.07	0.08	0.22	0.10	0.10	0.32	0.08	5.64	56
21	Pozo Dipalma	0.21	1.05	0.43	0.14	0.17	1.40	0.17	0.30	6.30	212
22	Pozo El General	0.21	0.57	0.17	0.54	0.23	0.70	0.15	0.36	6.38	167
23	Pozo Fauzy	0.01	0.84	0.40	1.93	0.38	1.80	1.11	0.80	6.39	360
24	Pozo Matadero	0.01	0.70	0.31	1.08	0.41	1.20	0.96	0.32	6.95	240
25	Pozo Rodimiro	0.01	0.33	0.08	0.46	0.23	0.20	0.81	0.10	6.14	108
26	Río Yeguaré, arriba	0.00	0.15	0.08	0.42	0.14	0.50	0.11	0.26	7.31	80
27	Pozo Olaechea	0.00	0.99	0.42	1.80	0.45	2.20	0.90	0.48	6.67	320

^a C.E. = conductividad eléctrica (µS/cm)

RESULTADOS Y DISCUSION

Los iones monovalentes sodio y potasio tienen unos niveles cuantitativos aceptables (Cuadro 1 y 2), siendo su relación Na/K próximo a 3. Se espera que en el futuro, con el desagüe de aguas negras y residuos agropecuarios a las fuentes superficiales, que los valores se puedan incrementar debido a la presencia de estos elementos en las heces y orina. Con los niveles actuales de sodio (Cuadro 1, 2 y 3) no se espera deterioro en la estructura de los suelos ni toxicidades sobre las plantas ya que el valor de SAR es menor de 3 (Cuadro 2 y 3). Las relaciones entre el sodio de las aguas de riego y el sodio del complejo de cambio se mide por la relación SAR y el SAR ajustado, así como por el índice de Eaton o carbonato sódico residual (CSR). Ambos parámetros están en niveles mínimos para SAR y aceptables para CSR (Ayers y Westcot, 1985).

Los iones bivalentes, calcio y magnesio, suelen estar asociados a carbonatos y sulfatos, así que al no haber carbonatos (Cuadro 1 y 2), la sal más probablemente existente es el sulfato de calcio o magnesio. Estas sales son muy poco solubles en agua (sulfato magnésico 2.8 mol/L y sulfato cálcico 0.014 mol/L). Esta solubilidad aumenta notablemente en medio ácido, que es el caso de Zamorano donde el pH de las fuentes de agua subterráneo y superficiales oscilan entre 7 hasta valores tan bajo como de 3 a 4 (Cuadro 2).

La presencia de bicarbonatos y la ausencia de carbonatos (Cuadro 1 y 2) se explica porque la reacción de autoprotólisis ($\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$) nos llevaría a la formación de bicarbonatos en las aguas naturales. La presencia de bicarbonatos estaría asociado a la propia actividad humana a lo largo de los cursos de agua, hasta su llegada a las aguas del río Yeguaré.

Hay diferencias entre los valores analíticos con respecto a la procedencia de las muestras, es decir entre el río, las quebradas, las lagunas y los pozos (Cuadro 4). Al comparar la procedencia de las muestras encontramos que las quebradas presentaron menor cantidad de bicarbonatos que los pozos (Cuadro 4). La causa es que a lo largo de los ríos los bicarbonatos por lo general disminuyen, proceso asociado al equilibrio de las presiones parciales de CO_2 .

Cuadro 2. Análisis descriptivo de los parámetros analíticos cuantitativos para muestras de agua tomadas en 27 puntos en el valle del Río Yeguaré. Los valores de los iones están expresados en mg/L.

Parámetro	Desviación			
	Media	estándar	Mínimo	Máximo
Bicarbonatos	0.763	0.622	0.000	2.200
Sulfatos	1.015	1.228	0.090	5.150
Cloruros	0.338	0.240	0.080	0.960
Nitratos	0.030	0.059	0.000	0.212
Calcio	0.827	0.762	0.057	3.610
Magnesio	0.246	0.173	0.033	0.791
Sodio	0.670	0.488	0.136	1.930
Potasio	0.230	0.132	0.092	0.620
C.E. ^a	214.5	161.98	36.00	736.00
pH	6.49	1.100	3.010	7.77
Dureza	5.376	4.558	0.451	22.05
Sales Totales	137.28	103.67	23.04	471.04
Presión				
Osmótica	0.077	0.058	0.013	0.265
SAR	0.999	0.516	0.158	2.450
SARajustado	2.020	1.511	0.113	6.370
Relación Ca	0.414	0.161	0.188	0.740
Relación Na	0.438	0.165	0.084	0.690
Índice Eaton	-0.333	0.966	-4.101	0.791
Índice Scott	193.54	131.15	36.65	532.34

^a C.E. = conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), SAR = relación de absorción de sodio.

Las muestras de las quebradas presentaron menor cantidad de cloruros que las lagunas. La causa es que los cloruros son un buen marcador del flujo y de su dirección, acumulándose en las aguas remansadas. Las muestras de las quebradas tuvieron menor cantidad de calcio que las lagunas. Esto se debe a que la capacidad de disolución está asociada a la presión parcial del CO_2 , que es más alta en los suelos (entre 0.001 a 0.1 atmósferas a 10 °C) que en las aguas libres (3.3×10^{-4} a 4.4×10^{-4}). Cuando disminuye la presión parcial se depositan sales de calcio.

Las aguas de las quebradas fueron menos duras que las de las lagunas (Cuadro 4). La causa es que la mayor cantidad de bicarbonatos puede poner en solución mayores cantidades de cationes bivalentes (calcio y magnesio), que son los que expresan los valores de dureza.

Cuadro 3. Nombres de los sitios de muestreo en el Valle del Yeguaré y los valores de los parámetros analíticos cualitativos y su clasificación dentro de los normas e índices de Riverside, Greene, Wilcox y Tamés.

Nombre	Calidad	Índice			
		Riverside ^a	Greene	Wilcox	Tamés
Laguna Horticultura	Sulfatada Cálcica	c2s1	buena	excelente	buena
Laguna Zona 2	Sulfatada Cálcica	c1s1	buena	excelente	buena
Quebrada El Gallo, Horticultura	Sulfatada Cálcica	c1s1	buena	excelente	buena
Laguna Colindres	Sulfatada Cálcica	c2s1	buena	excelente	buena
Laguna Monteredondo	Bicarbonatada sódica	c2s1	buena	excelente	dudosa
Yeguaré, Vega 2	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Pozo Yufra	Sulfatada sódica	c1s1	buena	excelente	buena
Laguna Titicaca	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	buena
Quebrada Santa Inés	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Depósitos	Sulfatada sódica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Quebrada Agua Amarilla	Sulfatada sódica	c2s1	buena	excelente	buena
Quebrada El Gallo	Sulfatada Cálcica	c2s1	buena	excelente	buena
El Chorrito	Sulfatada Cálcica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Pozo Las Cabras	Bicarbonatada cálcica	c1s1	buena	excelente	buena
Quebrada La Orilla	Bicarbonatada cálcica	c1s1	buena	excelente	buena
Yeguaré, Finca Bejuco	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Laguna Okeechobee	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	buena
Quebrada Santa Clara	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Laguna Santa Rosa	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	buena
Quebrada La Pita	Sulfatada sódica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Pozo Dipalma	Bicarbonatada cálcica	c1s1	buena	excelente	buena
Pozo El General	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	buena
Pozo Fauzy	Bicarbonatada sódica	c2s1	buena	excelente	dudosa
Pozo Matadero	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Pozo Rodimiro	Sulfatada sódica	c1s1	buena	excelente	buena
Yeguaré, arriba	Bicarbonatada sódica	c1s1	buena	excelente	dudosa
Pozo Olaechea	Bicarbonatada sódica	c2s1	buena	excelente	dudosa

^a c1s1=agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio
c2s1=agua de salinidad media y bajo contenido de sodio

Pero aun así, los niveles de dureza son relativamente bajos debido a la ausencia general de estos minerales en la roca madre de la cuenca.

No se detectaron diferencias entre las muestras de las aguas pertenecientes o no a Zamorano (Cuadro 4).

Los valores analíticos obtenidos en este estudio manifiestan que la calidad del agua para usos agrícolas está, por lo general, dentro de los límites de las normas internacionales (Ayers y Wescot, 1985).

CONCLUSIONES

Se recomienda que los puntos de muestreo, desde el punto de vista de seguimiento futuro dentro de una red de monitoreo, se clasifiquen en grupos, los de muestreo anual y muestreo bianual. Los puntos de muestreo de la Laguna de Horticultura en Zona 2, Laguna de Horticultura en Zona 2 abajo, Quebrada El Gallo en Horticultura, Laguna Colindres, Pozo Yufra, Laguna Titicaca, Quebrada Agua Amarilla, Quebrada el Gallo, Pozo Las Cabras, Quebrada La Orilla, Laguna Okeechobee, Laguna Santa Rosa en

Zona 3, Pozo Granja Dipalma, Pozo El General y Pozo Rodimiro están dentro de los índices y deberán tomarse muestras anualmente (Cuadro 3).

La Laguna Monteredondo, Río Yeguaré en la Vega 2, Quebrada Santa Inés, Depósitos, Quebrada El Chorrillo, Río Yeguaré en la Finca Bejuco, Quebrada Santa Clara en Bejuco, Quebrada La Pita, Pozo Fauzy, Pozo Matadero, Río Yeguaré arriba y Pozo Olaechea son puntos cuyas aguas no superan un índice y deberán tomarse muestras bianualmente (Cuadro 3).

Ninguna fuente de agua presentó aguas con más de un parámetro fuera de norma, lo que supone que no es

necesario llevar a cabo muestreo mensuales.

No obstante, estas observaciones y recomendaciones sólo se basan en los datos obtenidos durante un período de muestreo en la época lluviosa en un solo año, cuando la utilización de agua de riego es mínimo. Este es cuando existe una dilución de los sales por la lluvia y la escorrentía superficial es mayor. Por tal razón, se recomienda realizar otra serie de tomas de muestras en los mismos 27 puntos durante el período seco del año, cuando ocurre la mayor demanda de agua de riego y disminuye el caudal en las lagunas, pozos, quebradas y ríos.

Cuadro 4. Valores de F en los estudios de varianza para tres niveles de la variable Tipo (1=Quebrada; 2=Laguna; 3=Pozo) y dos niveles de la variable Pertenencia (1=Pertenece a Zamorano; 2=No pertenece a Zamorano) y prueba de Duncan al 0.05% para los significantes.

Parámetro	Tipo	Pertenencia	Duncan para tipo
Bicarbonatos	0.0499	0.3148	1 con 3
Sulfatos	0.3320	0.3188	NS ^b
Cloruros	0.0038	0.4179	1 con 2
Nitratos	0.1378	0.2001	NS
Calcio	0.0271	0.5441	1 con 2
Magnesio	0.0056	0.5670	1 con 2 y 3
Sodio	0.0158	0.5115	1 con 2 y 3
Potasio	0.0024	0.8554	1 con 2 y 3
C.E. ^a	0.2191	0.5230	NS
pH	0.2936	0.6385	NS
Dureza	0.0196	0.5366	1 con 2
Sales Totales	0.2191	0.5230	NS
Presión Osmótica	0.2209	0.5042	NS
SAR ^c	0.2330	0.1964	NS
SAR ajustado	0.0428	0.3656	1 con 3
Relación Ca	0.1410	0.6969	NS
Relación Na	0.2388	0.4581	NS
Índice Eaton	0.1326	0.2820	NS
Índice Scott	0.0153	0.9639	1 con 2 y 3

^a C.E. = conductividad eléctrica

^b NS = no significativo

^c SAR = relación de absorción de sodio

LITERATURA CITADA

- Ayers, R.S. y D. Wescot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, 174 p.
- Escuela Agrícola Panamericana. 1995. Informe Anual 1994-1995. 80 p.
- Myton, B. A., C. B. Ponce, D. I. Montoya, G. A. Borjas, M. A. Echeverría y S. G. Avila. 1992. La Cuenca del Río Choluteca. UNAH, Departamento de Biología, 130 p.
- Orihuela, D.L., Ferrer, R. y E. Romero. 1994. Programa informático para interpretación de la calidad agronómica del agua de riego. Congreso Agua y Medio Ambiente 1:305-310, Zaragoza, España.
- Secretaría de Recursos Naturales. 1993. Catálogo de oportunidades de inversión privada en la agricultura hondureña. Primera edición. Unidad de Planificación Sectorial Agrícola, 373 p.
- Sednick, J.D. 1991. Wildland water quality sampling and analysis. Academic Press Limited, 217p.