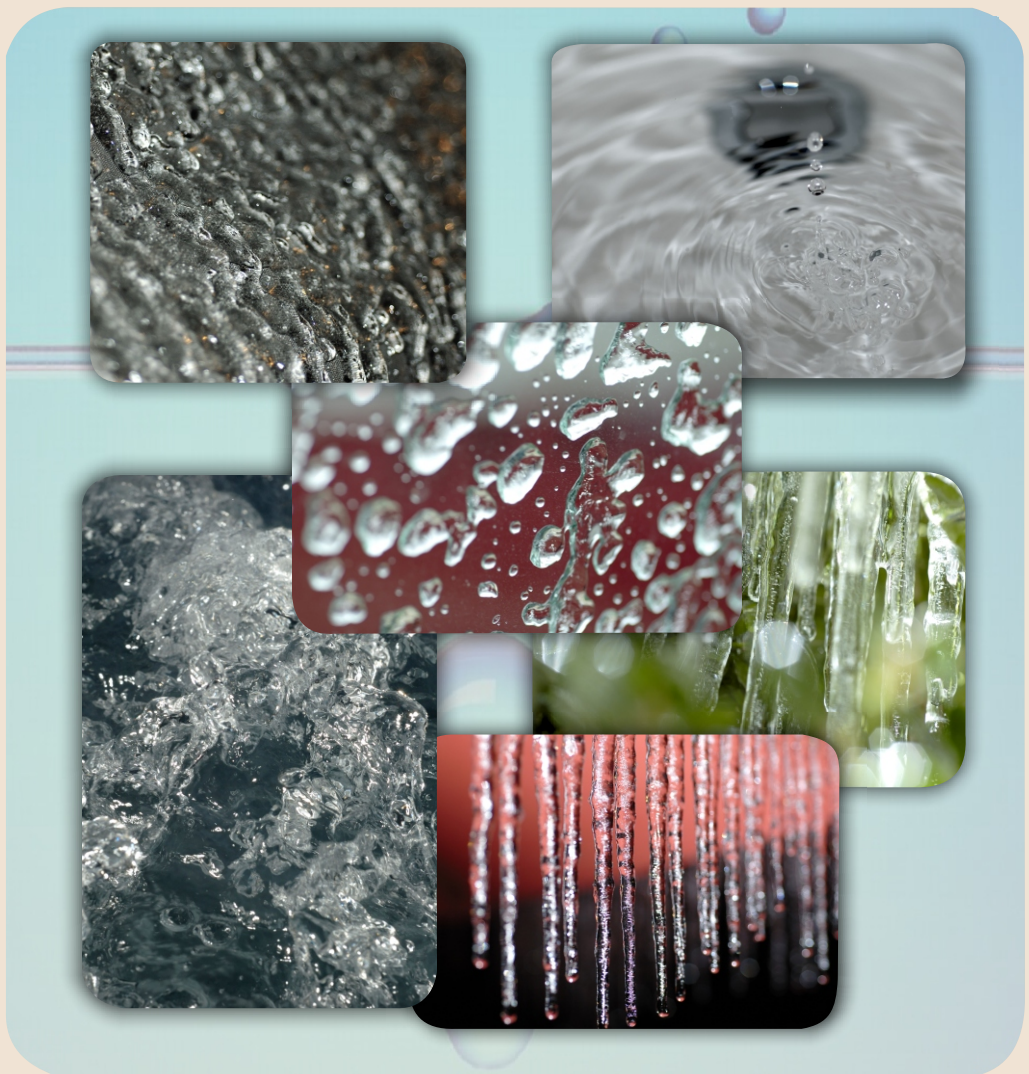


# Ciencia y Tecnología

Publicación Bianual de la Dirección de Investigación Científica de la  
Universidad Nacional Autónoma de Honduras  
Número 2, Segunda Época, Septiembre 2008  
ISSN: 1995 - 9613



**El Agua en Honduras: diagnóstico y perspectivas**

# Ciencia y Tecnología

Universidad Nacional Autónoma de Honduras  
Dirección de Investigación Científica

Número 2, Segunda época, Septiembre 2008  
ISSN: 1995-9613

Portada: Agua 2007  
Fotos: Sergio Murillo

## Rector

*Jorge Abraham Arita León*

## Vicerrectora Académica

*Rutilia Calderón*

## Directora de Investigación Científica

*Leticia Salomón*

## Directora de Revista

*Sayda Burgos*

## Consejo Editorial

*Claudia Torres*

*Gerardo Borjas*

*Gustavo Pérez*

*Ivette Lorenzana*

*Norma Lagos*

*Virginia Mejía*

## Diseño y Diagramación

*Karolina Herrera*

## Dirección de Investigación Científica

La Dirección de Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), es la instancia normativa del Sistema de Investigación Científica, encargada de velar por la aplicación de políticas, planes, programas, proyectos y acciones destinados al desarrollo de la investigación científica con calidad.

Edificio 4-A, 3er. Piso  
Cubículo 301

Tel/fax: 231-0678  
Pbx: 232-2110, ext. 184  
e-mail: [dicu@unah.edu.hn](mailto:dicu@unah.edu.hn),  
[saydab@gmail.com](mailto:saydab@gmail.com),  
[virgimejia@gmail.com](mailto:virgimejia@gmail.com)  
web: [www.unah.hn](http://www.unah.hn)

*Esta es una publicación bianual de la Dirección de Investigación Científica.  
El contenido de cada artículo es responsabilidad de su autor.  
La suscripción de esta publicación es gratuita, solamente se cobrará el costo del envío.*

# Contenido

## Tema Central

### El Agua en Honduras: diagnóstico y perspectivas

Comportamiento de los sedimentos fluviales en Honduras. Rendimiento y pérdida de suelo. Zona central y oriental.

*Roberto Fredy Ávalos Lingan*

3

Análisis de la contaminación del Río Choluteca y sus efectos sobre la población.

*Beatriz Ponce de Montoya*

19

Recursos hídricos, contaminación y sociedad civil en la región occidental de Honduras.

*Jorge Humberto Orellana, Francisco Machado Leiva, Álvaro Rivas Guzmán*

38

## Diálogo Abierto

Entrevista a *Rodolfo Ochoa Álvarez*  
“El manejo del agua en Honduras”

53

## Diversidad Temática

Del sexo a la rosa: Erotismo en la poesía de Clementina Suarez.

*Claudia Torres*

63

Proyecto de generación de energía eléctrica en base a biomasa aplicado a la UNAH.

*Roberto Ortíz, Osman Mejía, Jairo Sabillón, Dennis A. Rivera*

74

Vínculo estrategia de operaciones-tecnología en la industria hondureña: Ajuste de selección.

*César H. Ortega Jiménez*

91

Registro de un nuevo helecho para la flora de Honduras.

*Ruth Karina Hernández Cibrian, Cyril Hardy Nelson Sutherland*

110

Modelo numérico de movimiento ondulatorio en un medio heterogéneo no isotrópico bajo condiciones de estabilidad orbital.

*Fredy Vides*

114

## Notas Informativas

Criterios para la publicación en la Revista Ciencia y Tecnología

145





# TEMA CENTRAL



# Comportamiento de los sedimentos fluviales en Honduras. Rendimiento y pérdida de suelo Zona Central y Oriental

Roberto Fredy Ávalos Lingan\*

## RESUMEN

El Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente hasta 1984 manejaba una fuerte campaña de medición de sedimento en suspensión en sus principales estaciones hidrométricas. Por otra parte la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) manejaba también hasta los años 90 una fuerte medición de sedimento en las cuencas de su interés. La ENEE en los años 2000 a retomado dichas mediciones. Toda la información recolectada, a la fecha, presenta mucha discontinuidad en el tiempo y en frecuencia de medición. La información rescatable ha sido pocas veces investigada; al grado que los estudios sedimentológicos de los proyectos hidroeléctricos se basan en criterio de rendimiento y pérdida de suelo, según la experiencia de los consultores.

De lo mencionado se creyó necesario investigar, con la información disponible, los rendimientos y pérdida de suelo para la zona central y oriental del país. Esto permitirá disponer de alguna base científica para evaluar los valores utilizados por los consultores.

La hipótesis que el rango de rendimiento se encuentra entre 500 y 1000 (Ton/año/km<sup>2</sup>) es aceptada como resultado de la presente investigación.

**Palabras Clave:** *Sedimento, Sedimento en Suspensión, Sedimento de fondo, Muestreo Integral, Caudal Líquido, Caudal Sólido, Relación, Rendimiento y Pérdida de Suelo.*

## ABSTRACT

Up to 1984 the Ministry of Natural and Environmental Resources carried and intensive measurement campaign of suspending sludge in its main hydrometric stations. On the other hand up to the 90's the Electrical National Company (ENEE)

---

\*Roberto Fredy Ávalos Lingan  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

also carried an intensive sludge measurement in the water basins of interest. By the year 2000 the (ENEE) has collected such measurements. All the information gathered up to now presents discontinuity in time and in measurement frequency. Recoverable information has been investigated a few times to the point sedimentological studies of the hydroelectrical projects are based on the criterion of the usefulness and loss of the ground according to the consultant's experience.

As mentioned before it was necessary to investigate with the available information the usefulness and loss of the ground for the central and western zones of the country. This will provide to access some scientific evidence to evaluate the figures used by the consultants.

The hypothesis that the usefulness ranges between 500 and 1000 (ton/year/km<sup>2</sup>) is accepted as results in the present investigation.

**Keywords:** *Sludge, suspending sludge, bottom sludge, integral sampling, liquid volume, solid volume, relation, ground usefulness and loss.*

## **INTRODUCCIÓN**

Cada inicio del período lluvioso se observa en las diferentes cuencas hidrográficas del país que las aguas de los ríos y quebradas transportan agua con una fuerte turbidez. Dependiendo esto, principalmente, de la lluvia (cantidad, intensidad y duración), del tipo y estado del suelo, de la cobertura vegetal y de la morfología de la cuenca. De acuerdo a la publicación realizada por La Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (Balance Hídrico de Honduras, 2004), en esta se menciona que la lluvia promedio en Honduras es alta comparado con la evapotranspiración potencial. El valor promedio de la lluvia es de 1880 mm/año y la evapotranspiración potencial de 1315 mm/año. Calificándole como un país de clima húmedo y subhúmedo con una fuerte riqueza hídrica.

La lluvia es el principal agente en la producción de sedimento en la cuenca y los caudales en los cursos de agua en la erosión del lecho. Tomando en cuenta la situación actual de las cuencas del punto de vista de cobertura vegetal y constitución y estado del suelo, y lo mencionado en el párrafo anterior, el territorio hondureño se encuentra sometido a un fuerte potencial de erosión.

El objetivo de la presente investigación es determinar, a partir de la información disponible, los rendimientos de sedimento en ton/año/km<sup>2</sup> y la pérdida de suelo en mm/año; para la zona central y oriental del país.

Como resultado podemos mencionar que la parte oriental de país tiene un rendimiento de 685.586 ton/año/km<sup>2</sup> y una pérdida de suelo de 0.857 mm/año y la parte central de 843.344 ton/año/km<sup>2</sup> y una pérdida de suelo de 1.054 mm/año.

## **ANTECEDENTE**

De acuerdo a la información obtenida se sabe que desde lo años 60 el Departamento de Hidrología y Climatología de la Dirección de Recursos Hídricos (DGRH) del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente realizaba muestreos de sedimento en los principales ríos del país y que mediante su laboratorio de sedimento, de ese tiempo, obtenían las concentraciones y la producción de sedimento. Aparentemente esto duró hasta mediados de los años 84; información de sedimento antes de esos años no fue posible obtener.

Por otra parte, la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) también desde los años 60 inició muestreos de sedimentos integral y puntual en sus estaciones donde

se proyectaba una central hidroeléctrica. Disponía de un laboratorio de sedimento para la medición de concentraciones. A la fecha actual el laboratorio se ha modernizado; no solamente para concentraciones de sedimento, sino también de calidad de agua y otras variables más.

A través del tiempo los muestreos de sedimento en las estaciones hidrométrica de la ENEE disminuyeron; pero actualmente se ha retomado el plan de operaciones de muestreo. Cabe mencionar que ambas instituciones gubernamentales solamente han medido o miden sedimento en suspensión.

En el Estudio de Factibilidad del Proyecto El Cajón (1973), Volumen 2 Hidrología, la Empresa Motors-Columbus de Suiza tomaron los datos de sedimento disponibles a esa fecha del río Humuya y a su vez ellos también realizaron algunos muestreos. Llegando finalmente a determinar un rendimiento de 733.25 ton/año/km<sup>2</sup>.

La ENEE en 1987 realizó un análisis de sedimento de sus estaciones hidrométricas que disponían mayor información. Para lo cual aplicó el método del Bureau of Reclamation, considerando las curvas de sedimento ajustadas a las líneas de concentración establecidas por la ENEE y las curvas de duración de los caudales diarios. Lamentablemente no se pudo disponer de los datos ni del informe; pero si de algunas curvas de sedimentos.

En mayo de 1991 la Consultora alemana LAHMEYER dentro de los estudios de los proyectos hidroeléctricos Remolino y Sico II, determinó para el río Patuca en la estación hidrométrica Cayetano el rendimiento de 133.0 ton/año/km<sup>2</sup>. Calificando este resultado como muy bajo debido básicamente a la calidad de la información existente y a su discontinuidad. Finalmente esta Empresa trabajó con rangos de rendimiento de 500 a 900 ton/año/km<sup>2</sup>.

## **MARCO CONCEPTUAL**

Apesar que hay algo de información de sedimento en suspensión muestreados por las instituciones anteriormente mencionadas; cuyos planes de muestreos quizás no fueron realizados bajo ningún criterio científico; pero es la información que actualmente se dispone. Ya que a la fecha no es posible determinar en forma exacta los rendimientos y pérdida de suelo para las diferentes cuencas del país; queda la pregunta en qué rango se puede encontrar los rendimiento y pérdida de suelo en Honduras?.

Son los proyectos hidroeléctricos que han hecho realidad las mediciones de

sedimento que actualmente existe en el país. Básicamente esto es utilizado para determinar el volumen muerto de los embalses. El especialista y el diseñador se ponen de acuerdo para discutir los resultados y proponer un valor razonable. Conocer las pérdidas de suelo de las cuencas y de los cursos de agua es importante para el desarrollo sostenible y sustentable del país; recordemos que son en las primeras capas del suelo donde se encuentra la riqueza agrícola y no mencionar sus capacidades físicas que se ponen en riesgo. Esto permitirá establecer científicamente planes operativos urgentes para la conservación de los suelos.

## **HIPÓTESIS**

La hipótesis a probar es: Para la zona Central y Oriental los rendimientos se encuentran entre 500 y 1000 ton/año/km<sup>2</sup>.

## **METODOLOGÍA**

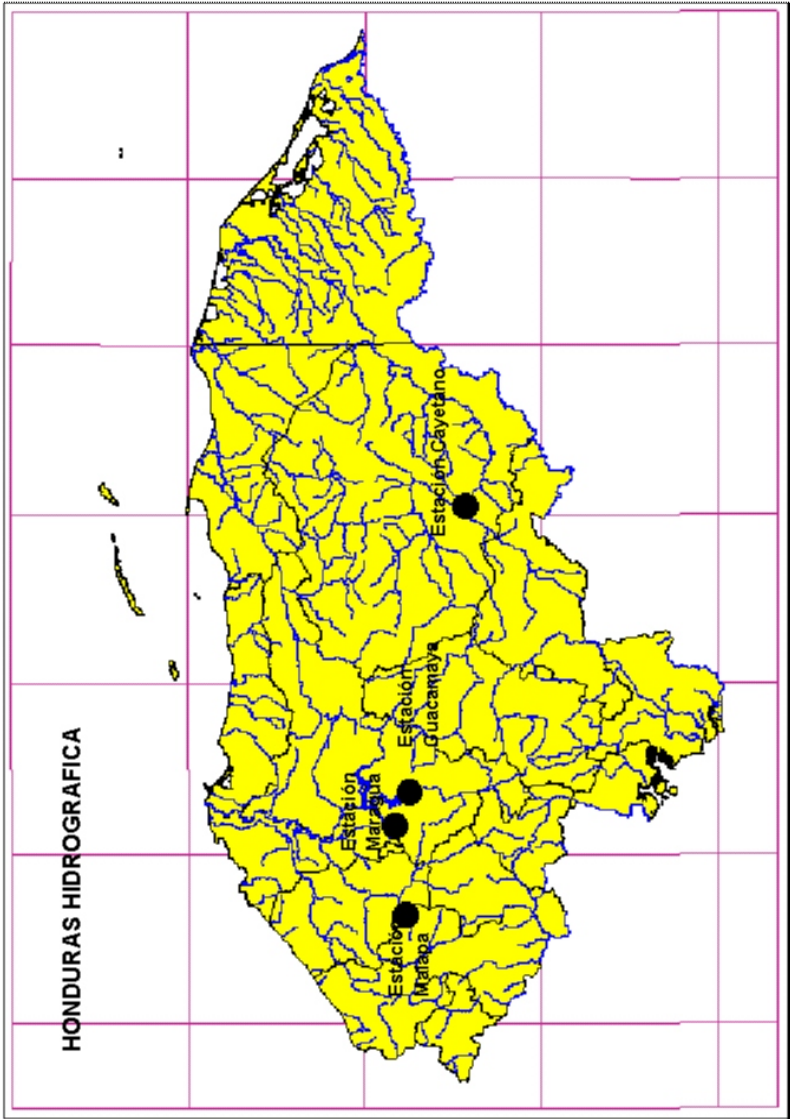
En base a la información disponible las muestras para la zona central es representada, en esta investigación, por la información disponible de los ríos Malapa, Guacamaya, Maragua, de sus estaciones hidrométricas correspondientes; tomando consideración únicamente las muestras obtenidas por muestreo integral. Para el caso de la zona oriental se pudo contar con los datos de sedimento de muestreo integral del río Patuca justo después de la unión de los ríos Guayape y Guayambre en la estación hidrométrica Cayetano. Cabe mencionar que las estaciones hidrométricas utilizadas pertenecen y son manejadas por la ENEE. El Plano 1 muestra la ubicación de los sitios de muestreo.

La calidad de la realización de los muestreos y los análisis de laboratorio está regida por normas internacionales, en especial, por la Organización Mundial Meteorológica y por parte de los fabricantes de equipo. En cuanto a la frecuencia de muestreo las normas dicen que hay que realizarlos durante todo el año; pero con una frecuencia mayor en los meses lluviosos; debidos a que son los tiempos de mayor sedimento. La cantidad fijada de cuantos muestreos hay que realizar en cada mes/meses seco o lluvioso no está bien establecida. La ENEE trata de cumplir con estas normas, cuyo cumplimiento en cuanto a la frecuencia están sujetas a circunstancias y planes propios de esa institución; como por ejemplo prioridades.

Cabe señalar que no se dispone de una serie con un número de datos uniformes de sedimento en suspensión en cada estación hidrométrica mencionada. Los análisis a aplicar serán realizados para el periodo disponible de cada una de ellas. Para

determinar los rendimientos y pérdida de suelo de las cuencas con información disponible, la metodología consistirá en encontrar alguna relación entre los caudales líquidos QL ( $m^3/s$ ) y sólidos QS (ton/día) justo en el periodo en que se realizaron los muestreos. Esto permitirá encontrar una relación matemática que las relacione y después de esto, extrapolarla o interpolarla de acuerdo a la información de caudales líquidos diarios disponibles. El peso específico del sedimento en suspensión es considerado en esta investigación con un valor de  $1.25 \text{ ton}/m^3$ .

Plano 1



## APLICACIÓN Y RESULTADOS

### 1. Generalidades

La metodología fue aplicada a las estaciones hidrométricas de Cayetano Guacamaya, Malapa y Maragua. Se probó con cada una de ellas varios tipos de relación entre QL vs QS, a mencionar relación lineal, relación polinomial de diferente orden. Logarítmica potencial y exponencial. Los mejores ajustes se obtuvieron utilizando un ajuste potencial, es decir  $QS=c*QL^n$ . Por consiguiente esta misma metodología fue aplicada a la información disponible de cada estación hidrométrica; permitiendo una uniformidad del tratamiento de la información y por supuesto una mejor interpretación de los resultados.

### 2. Río Patuca

Al sitio de la estación hidrométrica Patuca en Cayetano la cuenca correspondiente cubre un área hidrográfica de 10566.9 km<sup>2</sup>. La información recolectada de sedimento para esta investigación abarca el periodo de Marzo 2004 a Agosto 2007.

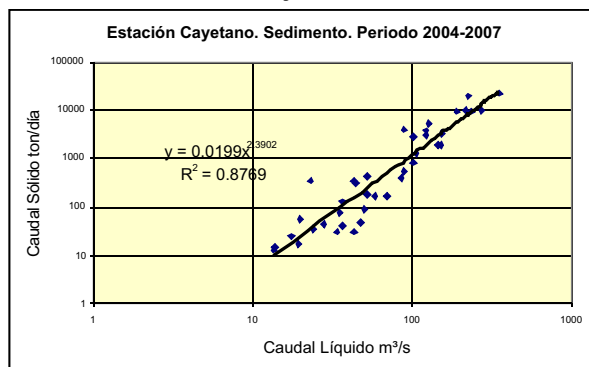
La relación encontrada entre QL (m<sup>3</sup>/s) y QS (ton/día) es la siguiente:

$$QS = 0.0199 * QL^{2.3902}$$

El coeficiente de correlación determinado es de 0.94.

La Figura 1 muestra el ploteo de la información en Log-Log y el trazado de la ecuación que relaciona ambas variables. Utilizando los caudales líquidos diarios para el periodo 2004 y 2006 y la ecuación encontrada, el promedio obtenido de los rendimientos es de 133.445 (ton/año/km<sup>2</sup>) y lo concerniente a las pérdidas de suelo fue de 0.167mm/año.

**FIGURA 1: Estación Cayetano. Ploteo de QS vs QL**



Como la estación hidrométrica de Cayetano tiene información de caudales líquidos desde 1973; la ecuación  $QS = f(QL)$  fue extrapolada de 1973 al 2006. Haciendo un total de datos de 33 años. El Cuadro 1 muestra los resultados obtenidos.

En el Cuadro 1 se observa los rendimientos y pérdida de suelo para cada año y también al final del cuadro un promedio y un total. El promedio corresponde a los sedimentos en suspensión y el total al sedimento total; es decir los sedimentos en suspensión más el de fondo.

De acuerdo al texto Diseño de Pequeñas Presas, publicado por el Bureau of Reclamation, se menciona que cuando no se dispone de información el sedimento de fondo, puede ser representado por el 10 al 15 % del sedimento en suspensión, en nuestro caso consideramos un 15%.

### 3. Río Humuya

Al sitio de la estación hidrométrica Humuya en Guacamaya la cuenca correspondiente cubre una cuenca hidrográfica de 2570.0 km<sup>2</sup>. La información recolectada para esta investigación abarca el periodo de Agosto 1992 a Noviembre 2002.

La relación encontrada entre QL (m<sup>3</sup>/s) y QS (ton/día) es la siguiente:

$$QS = 0.0704 * QL^{2.5492}$$

Con un coeficiente de correlación de 0.90.

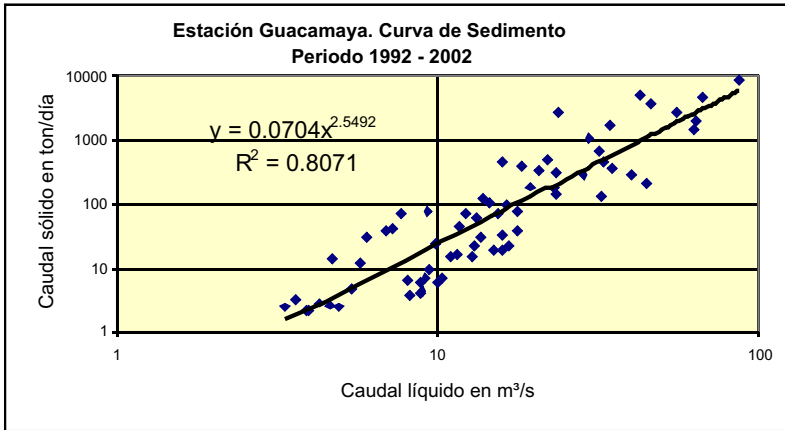
La Figura 2 muestra el ploteo de la información en Log-Log y el trazado de la ecuación que relaciona ambas variables.

Para el periodo 1992 - 2002 el rendimiento obtenido fue de 700.368 ton/año/km<sup>2</sup> y la pérdida de suelo de 0.875 mm/año.

Como se pudo disponer de caudales diarios de la estación hidrométrica de Guacamaya desde 1987 al 2006 la ecuación fue también aplicada para dicho periodo. El Cuadro 2 presenta los resultados.

Año	Rendimiento	Pérdida Suelo
	(ton/año/km <sup>2</sup> )	(mm/año)
1973	111.263	0.139
1974	147.750	0.185
1975	859.247	1.074
1976	137.662	0.172
1977	215.518	0.269
1978	326.393	0.408
1979	2284.035	2.855
1980	554.592	0.693
1981	372.186	0.465
1982	623.205	0.779
1983	301.777	0.377
1984	304.238	0.380
1985	70.835	0.089
1986	527.349	0.659
1987	407.178	0.509
1988	635.954	0.795
1989	260.183	0.325
1990	314.737	0.393
1991	721.555	0.902
1992	291.764	0.365
1993	1154.212	1.443
1994	128.703	0.161
1995	1409.723	1.762
1996	396.404	0.496
1997	394.449	0.493
1998	5098.543	6.373
1999	1463.812	1.830
2000	74.677	0.093
2001	24.651	0.031
2002	141.861	0.177
2003	114.705	0.143
2004	69.254	0.087
2005	282.806	0.354
2006	48.285	0.060
<b>Promedio</b>	<b>596.162</b>	<b>0.745</b>
<b>S. Fondo(15%)</b>		
<b>Total</b>	<b>685.586</b>	<b>0.857</b>

**FIGURA 2: Estación Guacamaya. Ploteo QS VS QL**



**CUADRO 2: Río Humuya en la Estación Guacamaya. Rendimiento y Pérdida de Suelo**

Año	Rendimiento	Pérdida Suelo
	(ton/año/km <sup>2</sup> )	(mm/año)
1987	150.6035798	0.188254475
1988	1554.783772	1.943479714
1989	630.8049274	0.788506159
1990	709.4182196	0.886772774
1991	308.1359937	0.385169992
1992	2038.584667	2.548230833
1993	305.5494008	0.381936751
1994	240.4778871	0.300597359
1995	1791.775612	2.239719515
1996	557.7196896	0.697149612
1997	373.4576691	0.466822086
1998	1800.001537	2.250001921
2000	340.7901051	0.425987631
2001	74.95226168	0.093690327
2002	132.1481716	0.165185215
2003	217.5991135	0.271998892
2004	141.0399826	0.176299978
2005	1608.406153	2.010507692
2006	957.2654461	1.196581808
<b>Promedio</b>	<b>733.343</b>	<b>0.917</b>
<b>S. Fondo(15%)</b>		
<b>Total</b>	<b>843.344</b>	<b>1.054</b>

#### 4. Río Maragua

Al sitio de la estación hidrométrica Maragua en Maragua la cuenca correspondiente cubre una cuenca hidrográfica de 252.3 km<sup>2</sup>. La información recolectada para esta investigación abarca el periodo de Agosto 1992 a Noviembre 2004.

La relación encontrada entre QL (m<sup>3</sup>/s) y QS (ton/día) es la siguiente:

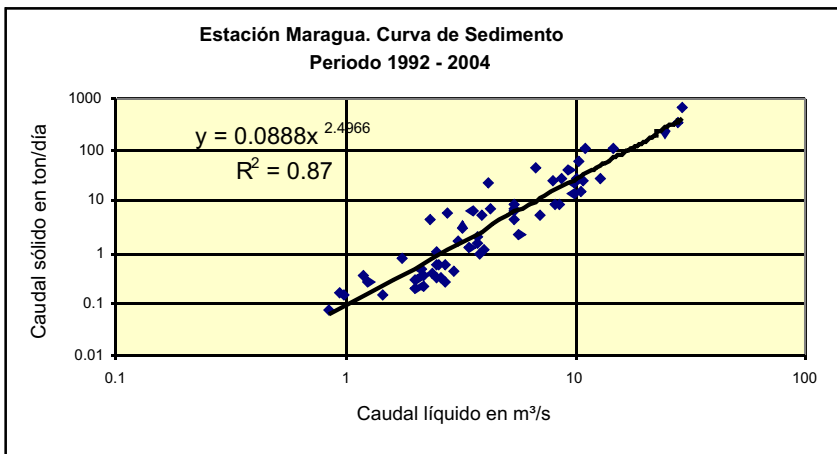
$$QS = 0.0888 * QL^{2.4966}$$

Con un coeficiente de correlación de 0.933.

La Figura 3 muestra el ploteo de la información en Log-Log y el trazado de la ecuación que relaciona ambas variables. Para el periodo 1992 - 2004 el rendimiento obtenido fue de 122.527 ton/año/km<sup>2</sup> y la pérdida de suelo de 0.153 mm/año.

Como se pudo disponer de caudales diarios de la estación hidrométrica de Maragua desde 1988 al 2006 la ecuación fue también aplicada para dicho periodo. El Cuadro 3 presenta los resultados.

**FIGURA 3: Estación Maragua. Ploteo de QS vs QL**



**CUADRO 3: Río Maragua en la estación Maragua. Rendimiento y Pérdida de Suelo**

<b>Año</b>	<b>Sedimento (ton/año)</b>	<b>Rendimiento (ton/año/km²)</b>	<b>Pérdida Suelo (mm/año)</b>	
1988	26733.43151	105.9589041	0.13244863	M
1989	8795.515522	34.86133778	0.043576672	
1990	42239.01421	167.4158312	0.209269789	
1991	2239.815169	8.877586878	0.011096984	
1992	32695.24362	129.5887579	0.161985947	
1993	27199.12729	107.8047059	0.134755882	
1994	41713.27926	165.3320621	0.206665078	
1995	50322.53639	199.4551581	0.249318948	
1996	42045.32421	166.648134	0.208310167	
2001	29721.49783	117.802211	0.147252764	M
2002	3636.048358	14.41160665	0.018014508	M
2003	6805.769304	26.97490806	0.033718635	
2004	7794.927326	30.89547097	0.038619339	
2005	55939.75653	221.7192094	0.277149012	
2006	41672.1907	165.1692061	0.206461508	M
<b>Promedio</b>	<b>27970.23182</b>	<b>110.861</b>	<b>0.139</b>	
<b>S. Fondo (15%)</b>	<b>4195.534772</b>			
<b>Total</b>	<b>32165.76659</b>	<b>127.490</b>	<b>0.159</b>	

Nota

**M** Serie completada porque no tiene información en algunos meses del periodo seco.

### 5. Río Malapa

Al sitio de la estación hidrométrica Malapa en Malapa la cuenca correspondiente cubre una cuenca hidrográfica de 110.33 km².

La información recolectada para esta investigación cubre el periodo de 1991 al 2006. La relación encontrada entre QL (m³/s) y QS (ton/día) es la siguiente:

$$QS = 0.6833 * QL^{1.7487}$$

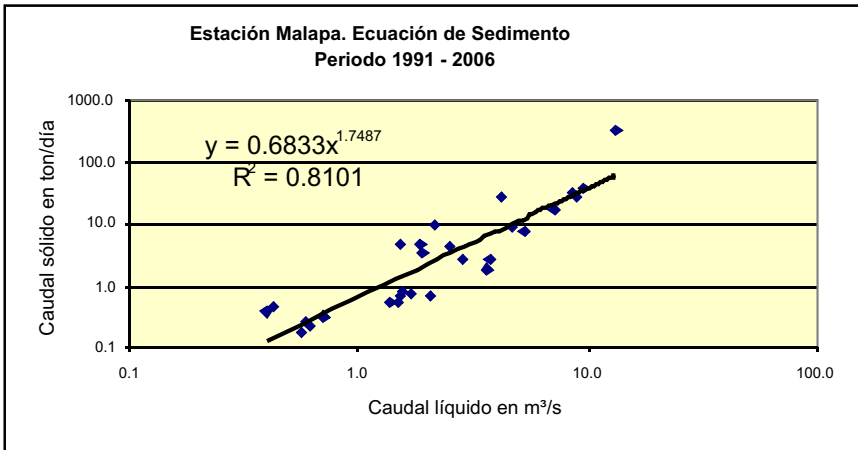
Con un coeficiente de correlación de 0.90.

La Figura 4 muestra el ploteo de la información en Log-Log y el trazado de la ecuación que relaciona ambas variables. Para el periodo 1991- 2006 el

rendimiento obtenido fue de 71.509 ton/año/km<sup>2</sup> y la pérdida de suelo de 0.089 mm/año.

Como se pudo disponer de caudales diarios de la estación hidrométrica de Maragua desde 1988 al 2006 la ecuación fue también aplicada para dicho periodo. El Cuadro 4 presenta los resultados.

**FIGURA 4: Río Malapa. Ploteo QS vs QL**



## ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Debido que no se tiene una serie larga de información de sedimento en suspensión se trató de utilizar toda la información que fue posible obtener; esto evitó seleccionar un período común de análisis para cada estación investigada.

A parte de esto se pudo observar que por lo general la mayor cantidad de información es obtenida en los meses secos. Provocando esto una subestimación de los rendimientos (ton/año/km<sup>2</sup>) y pérdida de suelo (mm/año); por ejemplo los casos más notorios son los resultados obtenidos en los ríos de Malapa (afuente al embalse de la hidroeléctrica El Nispero) y Maragua (afuente al embalse El Cajón). De averiguaciones en la ENEE se dice que estos ríos tienen un mayor rendimiento y pérdida de suelo.

**CUADRO 4: Río Malapa en la estación Malapa. Rendimiento y Pérdida de Suelo**

Año	Sedimento	Meses	Pérdida Suelo	Rendimiento
	(ton/año)	Faltantes	(mm/año)	(ton/año/km <sup>2</sup> )
1988	10514.009		0.119	95.296
1989	11199.178		0.127	101.506
1990	10222.571		0.116	92.654
1991	5494.083		0.062	49.797
1992	5588.366		0.063	50.651
1993	4491.765		0.051	40.712
1994	2872.759		0.033	26.038
1995	24006.000		0.272	217.584
1996	10724.673		0.122	97.205
1997	4575.768	10,11 y 12		
1998				
1999				
2000				
2001				
2002				
2003	3666.668	1, 2 y 3		
2004	485.531	del 7 al 12		
2005	4621.396	1, 2 3 4 5 y 8		
2006	8938.989		0.101	81.020
Suma	94052.392			
<b>Promedio</b>	<b>9405.239</b>		<b>0.107</b>	<b>85.246</b>
<b>S. Fondo(10%)</b>	<b>940.524</b>			
<b>Total</b>	<b>10345.763</b>		<b>0.117</b>	<b>93.771</b>

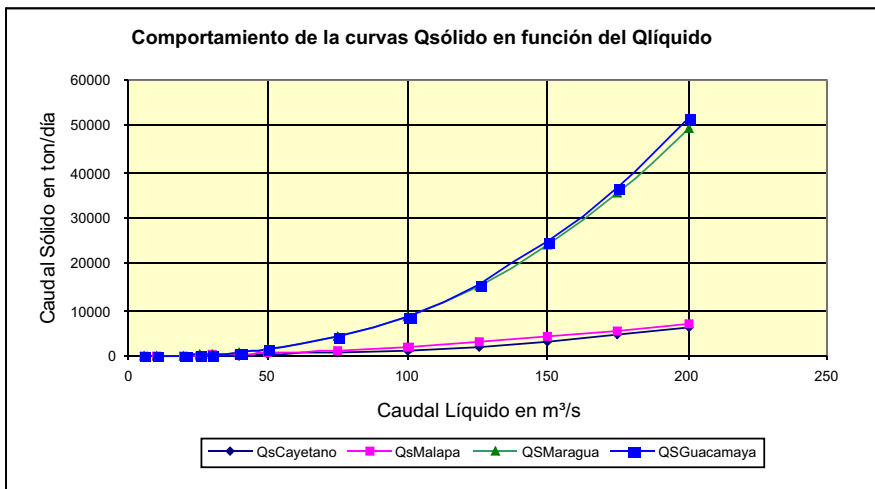
El extrapolar las relaciones hacia años anteriores no nos asegura que el comportamiento de los sedimentos sean iguales a los años recientes. Pero si sería interesante conocer la evolución de los rendimientos a través de periodos anteriores.

Si comparamos las relaciones obtenidas  $QS = f(QL)$  (ver Figura 5) se observa que las tendencias entre Guacamaya y Maragua son muy parecidas y de igual forma la de Cayetano se asemeja a Malapa. En el caso de Maragua y Guacamaya ambos son afluentes al embalse El Cajón. La coincidencia entre Cayetano y Malapa aparentemente es estadístico.

De acuerdo a la información disponible las estaciones de Guacamaya y Cayetano son las que presentaron mayor número de información y además, cubren cuencas de mayor amplitud que las otras dos. Al estado actual de la información y para esta investigación los resultados obtenidos en Cayetano y Guacamaya pueden considerarse interesante para juzgar la hipótesis de investigación.

En esta investigación la cuenca del río Humuya en Guacamaya queda como representativa para la zona central del país y la de Cayetano para la zona oriental. Los resultados obtenidos en los rendimiento muestran que ambas zonas tienen un rendimiento que cae entre 500 y 1000 ton/año/km<sup>2</sup>.

**FIGURA 5: Comparación de relaciones QS = f(QL)**



## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y de su interpretación se concluye lo siguiente:

1. Los datos disponibles de sedimento obtenido por muestreo integral, de las estaciones analizadas en la presente investigación, han sido muestreadas en su mayor parte durante los meses secos. De igual forma la frecuencia de muestreo y su cantidad es variable en cada estación hidrométrica.
2. La extrapolación hacia años anteriores de las relaciones  $QS = f(QL)$  no son completamente válidas. Porque el sedimento no dependen únicamente del caudal líquido sino también de otras variables, a mencionar como ejemplo suelo y cobertura vegetal.

3. Las cuencas de los ríos Malapa y Maragua necesitan una mayor cantidad de información para analizar sus rendimientos y pérdida de suelo.
4. De acuerdo al objetivo, a la cantidad y calidad de información disponible durante el desarrollo de la investigación y aceptando que las extrapolaciones favorecen en disponer de una mayor cantidad de información sin asegurar su trascendencia en el tiempo y que el número de muestra es pequeño, se concluye que la hipótesis planteada es aceptada; es decir, que los rendimientos de sedimento de la zona central y oriental del país se encuentran entre 500 y 1000 ton/año/km<sup>2</sup>.

## **AGRADECIMIENTO**

Se agradece a la Empresa Nacional de Energía Eléctrica del país por haber proporcionado la información de sedimento para las estaciones utilizadas en esta investigación; sin cuya información hubiera sido imposible llevarla a cabo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Avalos Lingan, R. Análisis y Producción de Sedimento para el Proyecto Patuca 3. Tegucigalpa: ENEE; 2007.
- Honduras. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. Dirección General de Recursos Hídricos. Balance Hídrico de Honduras. Tegucigalpa: 2004.
- Honduras. ENEE y Consultora GERACON. Estudio de Factibilidad Proyecto Patuca 3. Tegucigalpa: 1997.
- Honduras. ENEE y Consultora LAHMEYER. Estudio de Factibilidad de los Proyectos Naranjito y Remolino Sico. Tegucigalpa: 1991.
- Honduras. Información de Caudales diarios y los Sedimentos diarios de las estaciones Malapa, Maragua, Guacamaya y Cayetano.
- Honduras, ENEE y Motor Columbus, Proyecto El Cajón. Estudio de Factibilidad. Volumen 2. Tegucigalpa. Oct. 1973.

# **Análisis de la contaminación del Río Choluteca y sus efectos sobre la población a su paso por Tegucigalpa**

Beatriz Ponce de Montoya\*

## **RESUMEN**

El creciente proceso de urbanización e industrialización que se está dando en el país promueve la contaminación de los principales sistemas fluviales del mismo. La contaminación deteriora la calidad del agua, por el cambio en sus características físicas, químicas y biológicas lo cual afecta negativamente la vida acuática, la salud humana, la producción, las actividades de la población y otras. La pérdida de la calidad del agua se debe a diversos factores entre ellos: erosión, arrastre de agroquímicos de los suelos, sedimentos, aumento poblacional, crecimiento urbano desordenado, eliminación inadecuada de heces fecales y desechos sólidos, mal estado o poca distribución de colectores de aguas negras y otros. Esto trae como consecuencia: Aumento de microorganismos patógenos que pueden provocar la muerte de personas y animales, proliferación de vectores acuáticos transmisores de enfermedades como el dengue, alteración de las propiedades del agua; pH, turbidez, color, sabor, olor, etc., disminución de la diversidad biológica acuática, daños severos a los suelos y sus cultivos, eutrofización de las aguas lo que a su vez causa aumento de la demanda bioquímica de oxígeno, daños severos a la salud por contaminación por metales y otros.

La calidad del agua es un conjunto de características y propiedades de un cuerpo de agua que posibilita su uso con un fin determinado (Fundamentos Teóricos Educación Ambiental, 1999).

Se entiende por contaminación del agua al deterioro de su calidad por el cambio en sus características físicas, químicas o biológicas que afecta negativamente la vida acuática, la salud humana, las actividades de la sociedad, la infraestructura, la producción, etc.

Se considera que se genera contaminación en el agua por la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente para que cause efectos dañinos mensurables en la

---

\*Beatriz Ponce de Montoya  
Escuela de Biología, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

flora, la fauna (incluido al humano) o en los materiales de utilidad u ornamentales. Con frecuencia el sabor, el olor y el aspecto del agua indican que está contaminada, pero la presencia de contaminantes peligrosos sólo se puede detectar mediante pruebas químicas y biológicas específicas y precisas.

Existen valores máximos permisibles para parámetros ya sea físicos, químicos y biológicos, por ejemplo la presencia de nitrógeno amoniacal en el agua no debe exceder de 2.00 mg/l, si sobrepasa este valor se considera contaminante (ver matriz de variables III.4).

En vista de las consecuencias que trae consigo la contaminación del agua de los ríos y haciendo una revisión de los estudios de contaminación realizados anteriormente y en proceso, estos enfocan más el análisis fisicoquímico con el objetivo de generar datos que sirvan para medir los efectos e influencia de las plantas depuradoras, entre otros. Por lo que el propósito de esta investigación será determinar el impacto de la contaminación sobre la población y qué medidas tomar ya sea para prevenir o mitigar tales efectos.

**Palabras Clave:** *Contaminación, Riesgo, Vulnerabilidad, Prevención, Mitigación*

## **ABSTRACT**

The increasing process of urbanization and industrialization that is taking place in the country promotes contamination of the main fluvial system. Contamination deteriorates the quality of water due to the changes and its physical, chemical and biological characteristics which affect negatively the aquatic life, human health, production, population activities and others. The loss of the quality of water is due to different factors among them: erosion, agrochemical dragging, sediments, increase of population, urban disorganized growth, inappropriate elimination of feces and solid waste, bad condition or little distribution of sewage collectors and others. This brings as a consequence: growths of pathogen microorganism which can cause animal and human death, spreading of vectors, aquatic transmitters of diseases such as dengue fever alteration of properties of water, pH, blurriness, color, taste, odor, etc. Decreasing of the aquatic biological diversity, severe damages to the soil and crops eutrophication of the water which at the same time causes increase of the biochemistry demand of oxygen, harsh damages to health due to metal contamination and others.

The quality of water is a group of characteristics and properties of an open water

body that facilitate its use with a specific purpose (Environment Education Theoric Fundaments, 1999).

It is understood for water contamination to the deterioration of the quality of water due to the changes in its characteristics, physical, chemical or biological that affect negatively the aquatic life, human health, and society activities, infrastructure, production, etc.

It is considered that contamination is generated in the water for the addition of any substances in enough amounts to cause some harmful measurable effects in the flora, fauna (including human beings) or in the usefulness or ornamental materials. Frequently the flavor, the odor and the water aspect show that it is contaminated, on the other hand dangerous pollutants only can be found trough precise and specific chemicals and biological tests.

There are maximum permissible values to parameters either to physical, chemical or biological, for instance the existence of ammonium-nitrogen in the water must not exceed 2.00 mg/l, if it exceeds such rank is considered pollutant (see matrix of variables III.4)

Due to consequences that this comes with contamination of water in rivers revising contamination studies done formerly and in progress, these focus more on the physicochemical analysis with the purpose to generate data which will help measuring the effects and influence water treatment plant among others.

Which is why the purpose of this investigation will be to determine the impact of contamination on the population and which measurements to take either to prevent or mitigate such effects.

**Keyword: Contamination, risk, vulnerability, prevention, mitigation**

## INTRODUCCION

La cuenca del Río Choluteca forma parte de la Vertiente del Pacífico, siendo la mayor de las cuencas que vierten sus aguas al Golfo de Fonseca. Estudios anteriores y recientes del Río Choluteca revelan que es un ecosistema sometido a una fuerte presión ambiental debido a que en sus márgenes se encuentran ubicados numerosos pueblos y ciudades como Tegucigalpa y Choluteca.

La calidad del agua es afectada por diferentes contaminantes que son introducidos a esta, a través de las descargas directas de aguas negras o por la escorrentía de aguas lluvias sobre la superficie de los suelos. Entre los principales contaminantes están: microorganismos patógenos, sólidos suspendidos (basura, partículas flotantes), agentes químicos (sustancias tóxicas, petróleo y derivados, nutrientes).

La presencia de microbios patógenos en el agua causa enfermedades como diarreas, hepatitis, poliomielitis y otras. Pueden provenir de aguas negras a través de la infiltración en aguas subterráneas someras o escorrentía de la lluvia en suelos contaminados con heces fecales u organismos en putrefacción.

La basura depositada en las riberas de los ríos es arrastrada por el agua acrecentando su contaminación. Existe una correlación entre el mal manejo del agua en reservorios, la eliminación inapropiada de residuos sólidos y la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores como es el caso del Dengue que está afectando actualmente el territorio nacional.

En época de verano el problema de la contaminación en el agua se agrava por los olores nauseabundos que se producen al disminuir su caudal. Con el presente estudio se pretende hacer un análisis físico-químico y microbiológico del Río Choluteca a su paso por Tegucigalpa, identificando las principales fuentes, principales indicadores, los niveles actuales, y establecer los efectos de la contaminación como factores de riesgo en el ambiente. También se hará una investigación de campo utilizando encuestas que se aplicarán a la población que vive en las riberas del Río Choluteca a su paso por Tegucigalpa para identificar los efectos de la contaminación del mencionado río.

Para lograr los objetivos de estudio se identificarán los lugares de muestreo comprendidos entre la zona del puente Germania y el puente Juan Ramón Molina. El análisis físico-químico y microbiológico consiste en el análisis de parámetros químicos, físicos y microbiológicos, para lo cual se tomaran muestras de agua de los puntos seleccionados para muestreo y los análisis se realizaran en el Centro de

Estudios de Control y Contaminantes (CESCCO) siendo los parámetros químicos: Oxígeno disuelto, Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo.

Los parámetros físicos: Turbiedad, Conductividad, Sólidos disueltos, Color y los parámetros microbiológicos: Bacterias (coliformes totales y coliformes termoestables).

## **METODOLOGÍA**

- Selección de zonas de muestreo del Río Choluteca en base a su accesibilidad, representatividad y costos, tomando en cuenta los puntos de monitoreo que utiliza el SANAA, siendo los puntos escogidos:
  - Punto N.1- A la altura del Puente Germania.
  - Punto N.2- A la altura del Puente El Prado.
  - Punto N.3- A la altura del Puente Juan Ramón Molina.
- Toma de muestras de agua de las zonas escogidas, cada dos meses tanto en época lluviosa como en época seca ( a partir de agosto de 2005 a Febrero de 2006).
- Realizar evaluaciones físico-químicas y microbiológicas de las muestras de agua, tales como: Nitrógeno, Fósforo, Temperatura, Oxígeno disuelto y bacterias, para determinar el deterioro de la calidad de agua, complementando con los análisis de parámetros que el SANAA está realizando tales como: pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos disueltos, color, conductividad, turbiedad, grasas y aceites.
- Identificación de las principales fuentes de contaminación del río consultando estudios anteriores y a través de visitas de campo basándose en la observación visual de las descargas puntuales y de desechos sólidos.
- Consultar bibliografías referentes a estudios que se han realizado sobre fuentes de contaminación en el país, así como bibliografía relacionadas con el tema.
- Conocer la cobertura y estado de los colectores de aguas negras sin tratamiento.
- Determinar el funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales en Tegucigalpa.
- Aplicar encuestas en casas y en fábricas aledañas a la orilla del Río Choluteca así como a personas que utilizan agua del río o trabajan en el mismo, para identificar los efectos de la contaminación de este río sobre la población, a su

## MATRIZ DE VARIABLES, INDICADORES E INDICES.

### NORMAS DE CALIDAD PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS RECEPTORES

VARIABLE	INDICADOR	ÍNDICE Y UNIDAD DE ANÁLISIS	INSTRUMENTO
		(Concentración máxima permisible)	
Calidad del agua en cuerpos receptores y concentraciones máximas permisibles de descarga	Oxígeno disuelto	(3mg/l*)	Medición: Oxímetro
	pH	6-9 NTU (4.5-9.5)	pHmetro
	DBO	50.00 mg/l. (15mg/l*)	Método dilución
	DQO	200.00 mg/l. (50 mg/l*)	Método reflujó cerrado.
	Temperatura	< 25.00 °C	Visual con termómetro
	Fósforo total	5.00 mg/l	Colorimétrico
	Nitrógeno amoniacal	20.00 mg/l. (2 mg/l*)	Nesslerización
Tipos de Contaminantes	Sólidos o partículas suspendidas	100.00 mg/l	Gravimétrico
	Materia flotante y espuma	AUSENTE	Visual con malla flotante
	Organismos patógenos: Bacterias (coliforme fecal)	5000/100 ml.	Análisis microbiológico: Tubos múltiples o Membrana filtrante
Fuentes productoras de contaminación	Fábricas de: Alimentos	Empacadoras de pollo	Monitoreos
	Bebidas	Bebidas carbonatadas	Monitoreos

	Hospitales Otras		Monitoreos
Efectos sobre el ambiente	Factores abióticos	Agua, suelo y aire	Monitoreos
	Factores bióticos	Seres vivos: flora y fauna	Inventarios
Parámetros indicadores de contaminación	Físicos: pH	Menor a 4.5 mg/l. y mayor a 9.5 mg/l*	Potenciómetro
	Color	> 200 mg/l	Espectrofotométrico
	Químicos: Grasas y aceites	10 mg/l	Método de Extracción
	Demanda de bioquímica de oxígeno	Mayor a 50.00 mg/l (mayor a 15 mg/l*)	Método de dilución
	Demanda química de oxígeno	Mayor a 200 mg/l. (Mayor a 50 mg/l*)	Método de reflujo
	Oxígeno disuelto	0 mg/l	Oxinómetro
	Conductividad	Mayor a 400 M homnios/cm**	Conductímetro
	Microbiológicos: Bacterias fecales	Mayor a 5000/100 ml*	Análisis microbiológico

\* Según la Propuesta Nacional de normas para agua de uso en preservación de flora y fauna (Calidad Básica del Agua).

\*\* Según la norma técnica nacional para la calidad del agua potable.

## RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA

### 1. Tabulación de Datos

Las muestras se tomaron en tres puntos del Río Choluteca a su paso por Comayagua y Tegucigalpa y se analizaron en el laboratorio del Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO) parámetros tales como DBO, DQO, grasas y aceites, nitrógeno amoniacal, fósforo total, coliformes totales, coliformes termotolerantes y el oxígeno disuelto (para el punto N. 3 correspondiente al Puente Juan Ramón Molina), los demás parámetros se analizaron en el laboratorio de control de calidad del SANAA. Para el análisis de datos se utilizó la metodología utilizada por esta institución.

### Monitoreo del Río Choluteca (Período Lluvioso 2005 - Período Seco 2006)

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Temperatura del Agua	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica						
Puente Germania		20.8	20.8	21.8	27.4	24.6
Puente El Prado		21.2	21.2	22.3	26.7	24.5
Puente Juan R. Molina		22.1	22.1	24	27.5	25.7

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Oxígeno Disuelto	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica*	3	3	3	3	3	3
Puente Germania		6.53"	6.53	6.4"	11.4"	8.9
Puente El Prado		2.22"	2.22	0"	0"	0
Puente Juan R. Molina	4.4	2.2	3.3	0	0	0

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Coliformes Totales	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica*	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
Puente Germania	12,400	25,000	18,700	900	3,000	1,950
Puente El Prado	6,300,300	10,000,000	8,150,000	90,000,000	60,000,000	75,000,000
Puente Juan R. Molina	4,960,000	10,000,000	7,480,000	95,000,000	75,000,000	85,000,000

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Coliformes Termotolerantes	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica*	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Puente Germania		3,000	3,000	250	50	150
Puente El Prado		5,000,000	5,000,000	20,000,000	25,000,000	22,500,000
Puente Juan R. Molina		3,000,000	3,000,000	5,000,000	12,500,000	87,500,000

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Nitrógeno Amoniacal	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica*	2	2	2	2	2	2
Puente Germania	0.35	0.64	0.495	0.37	1.12	0.74
Puente El Prado	40.3	1.95	2.99	12.7	35.48	24.09
Puente Juan R. Molina	2.09	1.95	2.425	11.2	29.78	20.49

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Fósforo Total	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	5	5	5	5	5	5
Puente Germania	0.09	0.21	0.15	0.34	0.67	0.504
Puente El Prado	0.6	1.5	1.05	42.7	6.758	5.72
Puente Juan R. Molina	0.47	1.5	0.985	4	6.49	5.24

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Aceites y Grasas	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	10	10	10	10	10	10
Puente Germania	5.1	1.3	3.2	< 0.1	N.D	< 0.1
Puente El Prado	6.5	4.5	5.5	14	N.D	14
Puente Juan R. Molina	5.1	3.3	4.2	9.4	N.D	9.4

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
DBO5	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	50	50	50	50	50	50
Puente Germania	1.8	5	3.4	5	3.80	4.4
Puente El Prado	3.5	4.5	15.65	91	87.80	89.4
Puente Juan R. Molina	7.6	3.3	16.3	76	83.80	79.9

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
DQO	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	200	200	200	200	200	200
Puente Germania	29	31	30	12	48	30
Puente El Prado	51	70	60.5	214	280	247
Puente Juan R. Molina	29	116	72.5	280	296	288

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Color	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	< 200	< 200	< 200	< 200	< 200	< 200
Puente Germania	250	90	170	55	35	45
Puente El Prado	225	75	150	350	1,250	800
Puente Juan R. Molina	225	70	16.3	300	1,750	1,025

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
PH	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Puente Germania	7.31	7.51	7.41	7.80	8.38	8.09
Puente El Prado	7.09	7.27	7.18	6.89	7.94	7.41
Puente Juan R. Molina	6.9	7.12	7.01	6.98	8.27	7.6

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Conductividad	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica						
Puente Germania	50	96	73	180	260	220
Puente El Prado	180	360	270	510	58	284
Puente Juan R. Molina	130	370	500	480	510	495

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Turbiedad	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica						
Puente Germania	117	28.1	72.55	16.50	1.77	9.13
Puente El Prado	102	20.5	61.25	146	122	134
Puente Juan R. Molina	95.3	16.7	56	117	155	136

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Sólidos Disueltos	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica						
Puente Germania		48	48		130	130
Puente El Prado		180	180		290	290
Puente Juan R. Molina		185	185		255	255

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Sólidos Suspendidos	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	100					
Puente Germania		12	12	4	12	8
Puente El Prado		8	8	172	424	298
Puente Juan R. Molina		28	28	124	628	376

- \* Propuesta nacional de Normas para agua de uso en Preservación de Flora y Fauna.
- \*\* Norma de Calidad para Descarga de Agua Residuales en Cuerpos Receptores.
- “ Dato tomado en el campo con el oxigenómetro

## 2. Análisis e Interpretación de los Datos

Según los resultados de los análisis de laboratorio, del monitoreo realizado en el periodo lluvioso de 2005, se observa lo siguiente:

- a. **Puente Germania:** Presenta valores promedio mínimos correspondiente a coliformes totales con 18,700 UFC/100 ml, coliformes termotolerantes (3,000 UFC/100 ml), nitrógeno amoniacal (0.495 mg/l), fósforo total (0.15 mg/l), DBO 5 (3.4 mg/l), DQO (30 mg/l) y aceites y grasas (3.2 mg/l) y cuenta con un valor promedio máximo para oxígeno disuelto con 6.53 mg/l.
- b. **Puente El Prado:** Presenta valores máximos y fuera de norma para coliformes totales (8, 150,000 UFC/100 ml), coliformes termotolerantes (5, 000,000 UFC/100 ml) y nitrógeno amoniacal (2.99 mg/l). Los valores promedio mínimos son para oxígeno disuelto con 2.22 mg/l y para sólidos suspendidos con 8 mg/l.
- c. **Puente Juan Ramón Molina:** Se observa valores fuera de norma para coliformes totales con 7, 480,000 UFC/100 ml, coliformes termotolerantes con 3, 000,000 UFC/100 ml, nitrógeno amoniacal con 2.42 mg/l y oxígeno disuelto con 3.3 mg/l. Se observa un valor promedio mínimo para color con 148 UC.

**Cuadro N.2 Valores promedio del Monitoreo del Río Choluteca Periodo Lluvioso 2005**

Parámetros de Muestreo	Muestreo	Norma	1. Puente Germania	2. Puente El Prado	3. Puente Juan R. Molina
Temperatura del Agua (°C)			20.8	21.2	22.1
Oxígeno Disuelto		3*	6.53	2.22	3.3
Coliformes Totales (UFC/100 mL)		25,000*	18,700	8,150,000	7,480,000
Coliformes Termotolerantes (UFC/100 ml)		5,000*	3,000	5,000,000	3,000,000
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)		2*	0.495	2.99	2.425
Fósforo Total (mg/l)		5**	0.15	1.05	0.98
DBO (mg/l)		50**	3.4	15.6	16.3
DQO (mg/l)		200**	30	60.5	72.5
Aceites y Grasas (mg/l)		10**	3.2	5.5	4.2
Color (UC)		< 200**	170	150	148
Sólidos Suspendidos (mg/l)		100**	12	8	28
pH		6-9**	7.41	7.18	7.01
Sólidos Disueltos (mg/l)			48	180	185
Conductividad (Mhoms/cm)			73	270	500
Turbiedad (NTU)			72.55	61.25	56

Valor fuera de norma   
 Valor máximo y fuera de norma   
 Valor mínimo

\* Propuesta de normativa de uso del agua en preservación de flora y fauna.




\*\* Norma técnica de descarga de agua residual a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario.

Según los resultados de los análisis de laboratorio, del monitoreo realizado en el periodo seco de 2006, se observa lo siguiente:

- a. Puente Germania:** Presenta valores promedio mínimos para coliformes totales (1,950 UFC/100 ml), coliformes termotolerantes (150 UFC/ 100 ml), nitrógeno amoniacal (0.74 mg/l), fósforo total (0.50 mg/l), aceites y grasas (< 0.1 mg/l), DBO5 (4.4 mg/l), DQO (30 mg/l), color (45 UC) y un valor promedio máximo para oxígeno disuelto (8.9 mg/l).
- b. Puente El Prado:** Presenta valores promedio fuera de norma para coliformes totales (75, 000,000 UFC/100 ml), coliformes termotolerantes (22, 500,000 UFC/ml), DQO (247 mg/l), aceites y grasas (14 mg/l), color (800 UC) y sólidos suspendidos (298 mg/l). Los valores promedio máximos y fuera de norma corresponden a nitrógeno amoniacal (24.09 mg/l), fósforo total (5.72 mg/l), DBO5 (89.4 mg/l). Se observa que el oxígeno disuelto presenta valores de 0 mg/l.
- c. Puente Juan Ramón Molina:** Los parámetros que presentan valores promedios máximos y fuera de norma corresponden a coliformes totales (85, 000,000 UFC/100 ml), coliformes termotolerantes (87, 500,000 UFC/ml), DQO (288 mg/l), color (1,025 UC) y sólidos suspendidos (376 mg/l). Se observan valores fuera de norma para nitrógeno amoniacal (20.49 mg/l), fósforo total (5.24 mg/l), DBO5 (79.9 mg/l). En este punto también se observa que el oxígeno disuelto presenta valores de 0 mg/l.

**Cuadro N.3 Valores promedios del Monitoreo del Río Choluteca Periodo Seco 2006**

Parámetros de Muestreo	Puntos de Muestreo	Norma	1. Puente Germania	2. Puente El Prado	3. Puente Juan R. Molina
Temperatura del Agua (°C)			24.6	24.5	25.7
Oxígeno Disuelto (mg/l)		3*	8.9	0	0
Coliformes Totales (UFC/100 mL)		25,000*	1,950	75,000,000	85,000,000
Coliformes Termotolerantes (UFC/100 ml)		5,000*	150	22,500,000	87,500,000
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)		2*	0.74	24.09	20.49
Fósforo Total (mg/l)		5**	0.5	5.72	5.24
DBO (mg/l)		50**	4.4	89.4	79.9
DQO (mg/l)		200**	30	247	288
Aceites y Grasas (mg/l)		10**	< 0.1	14	9.4
Color (UC)		< 200**	45	800	1,025
Sólidos Suspendidos (mg/l)		100**	8	298	376
pH		6-9**	8.09	7.41	7.6
Sólidos Disueltos (mg/l)			130	290	255
Conductividad (Mhoms/cm)			220	284	495
Turbiedad (NTU)			9.13	134	136

Valor fuera de norma  \* Propuesta de normativa de uso del agua en preservación de flora y fauna.  
 Valor máximo y fuera de norma  \*\* Norma técnica de descarga de agua residual a cuerpos receptores y  
 Valor mínimo  alcantarillado sanitario.

### 3. Análisis del Monitoreo del Río Choluteca

Al hacer el análisis de los resultados de laboratorio de las muestras de agua tomadas en el río Choluteca durante el periodo lluvioso de 2005 y periodo seco de 2006 se observa que existe una fuerte contaminación orgánica proveniente de aguas fecales, principalmente en el punto de muestreo N. 2 (Puente El Prado) seguido del punto N.3 (Puente Juan Ramón Molina), en los cuales el numero de coliformes totales y termotolerantes o fecales sobrepasan el valor límite; esto indica que hay descarga puntual de aguas negras (domesticas y/o municipales) no tratadas por lo que es de extrema necesidad de que los colectores de aguas negras tengan el debido mantenimiento y mayor cobertura así como la existencia de plantas depuradoras de aguas negras.

Los valores que se obtuvieron para Nitrógeno amoniacal sobrepasaron la norma técnica (2mg/l) en el punto N.2 y el punto N.3 como resultado de la descomposición de materia fecal.

En base a estos resultados se observa que la contaminación en el río Choluteca es predominantemente por descargas puntuales (aguas negras sin tratamiento). También se observa que los valores de DBO Y DQO se presentan fuera de norma en los puntos N.2 y N.3 durante el periodo seco de 2006.

Existen dos fábricas antes del punto N.2 y N.3 de las cuales una dijo arrojar sus desechos líquidos por la tubería de alcantarillado y la otra según fuentes fidedignas no aplican tratamiento a sus aguas residuales y son depositadas al río, contribuyendo así a que haya mayor concentración de materia orgánica e inorgánica.

Se observó durante los muestreos realizados en el río Choluteca la presencia de un botadero de desechos sólidos (basura) en el punto N.3 correspondiente al Puente Juan Ramón Molina, a orillas del río en mención. Esto representa un foco de contaminación principalmente en época lluviosa ya que por efecto de escorrentía puede llevar contaminantes al río.

#### a. Identificación de las principales industrias de contaminación del Río Choluteca a su paso por Tegucigalpa y Comayagua

En 1996 el Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO) identificó las principales industrias de contaminación del Río Choluteca a su paso por Tegucigalpa y Comayagua siendo mayormente las industrias de producción de alimentos las cuales generan efluentes con contenido significativo de materia orgánica CESCCO detectó que de las treinta y dos (32) industrias visitadas en la Región Metropolitana, diez (10) de ellas carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales, una (1) dispone inadecuadamente sus efluentes y una (1) cuenta con tratamiento deficiente.

También identificó otro problema ambiental como el manejo y disposición inadecuada de desechos sólidos, en la mayoría de los casos son enviados sin tratamiento al botadero municipal o son dispuestos directamente en las márgenes de ríos o quebradas y por arrastre llegan finalmente al Río Choluteca.

Así mismo hizo un estudio en nueve industrias de diferentes servicios tales como: alimenticias (de helados, de bebidas carbonatadas y procesadoras de pollo), químicas (revelado fotográfico, droguerías y fabrica de baterías para carro), de servicios (lavanderías), de la madera (fosforeras) y del concreto (fabrica de bloques). Los análisis revelaron que el 56% de las industrias evaluadas vierten sus efluentes al alcantarillado, el 44% vierten directamente al río Choluteca o uno de sus afluentes.

Todas las industrias se encuentran sobre los valores norma para los parámetros analizados de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas para regular Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillados Sanitario (CTN-CALAGUA; 1997).

Los parámetros que se analizaron fueron DBO, DQO, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, fósforo total, cloruros, alcalinidad, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, metales pesados, hierro, níquel grasas y aceites y dureza. Las industrias que cuenta con un sistema de tratamiento primario son la industria alimenticia procesadora de pollos, la industria química de baterías para carro y la industria de fábrica de bloques, sin embargo no es suficiente para reducir los valores de algunos parámetros hasta cumplir con las normas técnicas.

La mayoría de las empresas industriales carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales y aunque la descarga no se realice directamente a un cuerpo receptor sino al alcantarillado sanitario, los efluentes tanto industriales como domésticos terminan incorporándose al río Choluteca.

Se visitó las oficinas de la Dirección de Evaluación y Control Ambiental (DECA) y de la Fiscalía del Ambiente para establecer las fuentes que contaminan el río Choluteca en la actualidad pero no existen denuncias notificando tales fuentes. Sin embargo se han identificado posibles fuentes tales como gasolineras, polleras, hospitales, mercados, imprentas, talleres, textilerías, galvanizadas, entre otras.

La Alcaldía Municipal a través de la unidad de gestión ambiental y el Comité de Emergencia Municipal (CODEM) realizan obras de prevención y mitigación de desastres tales como dragado y reforestación de ríos y quebradas.

#### **b. Análisis de la investigación Físicoquímica y Microbiológica**

Los resultados de los análisis físicoquímicos y microbiológicos demuestran que los puntos de muestreo que presentan mayor contaminación especialmente durante el periodo seco del 2006 corresponden a los puntos ubicados en el puente El Prado y en el puente Juan Ramón Molina, los valores de DBO y DQO sobrepasan el valor límite que es de 50 y de 200 mg/l respectivamente según la norma técnica de descarga de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario.

Esto indica que en el río se esta haciendo descarga de aguas residuales sin tratamiento provenientes de industrias.

Otros indicadores de contaminación que están por arriba de la norma son el color y los sólidos suspendidos, <200 UC y 100 mg/l respectivamente, el numero de los coliformes totales y termotolerantes esta alarmantemente fuera de norma (25,000 y 5,000 UFC/ 100ml respectivamente), lo cual es un indicativo de que hay una fuerte descarga puntual de aguas negras (domesticas y/o municipales) no tratadas, como resultado de la descomposición de la materia fecal se observa la presencia de Nitrógeno amoniacal con valores fuera de la norma, 2 mg/l según la propuesta de normativa de uso del agua en preservación de la flora y fauna.

#### **c. Análisis del Trabajo de Encuestas**

Se aplicaron encuestas en los pobladores de las riberas del Río Choluteca como también a personas que trabajan en el río, a partir del puente Germania hasta la zona de La Isla, de 400 colonias en las riberas del río se seleccionaron las más cercanas, las encuestas en total fueron de 44.

La mayoría de las viviendas consultadas son de tipo marginal (84.85%), se observa que el material de construcción predominante es el ladrillo (39.39%), seguido de la madera (36.36%), se observan casas construidas con laminas (12.12%), otras son de madera y cartón (9.09%) y un pequeño porcentaje es de bloque (3.03).

El 48% de la población presenta edades comprendidas entre los 15 a 50 años, la población que cuenta con edades entre 5 a 14 años es de 27%,

el 11.5 % de los habitantes presenta edades entre 1 a 4 años, el 7.5% son menores de un año, el 5.5% presenta edades mayores de 50 a 74 años.

La cobertura de acceso a agua potable en estos pobladores es de 69.7%, el 30.3 % que no cuenta con este servicio directamente la obtiene de diferentes fuentes

(vecinos y otros), las personas que tienen niños le dan tratamiento al agua que les dan de tomar, tales como hervirla o agregarle gotas de cloro como medida de precaución para evitar enfermedades gastrointestinales. Las enfermedades que más afectan a la población son de tipo respiratorio tales como gripes (39.39%) y tos (33.33%), los pobladores creen que esto es debido a los malos olores generados por el río Choluteca.

Respecto al servicio de recolección de basura el 66.66% de la población no cuenta con este servicio sin embargo la mayoría (63.63%) elimina la basura quemándola. Los vectores que más afectan a la población son los zancudos (55.88%) los cuales pueden transmitir enfermedades tales como el dengue, también un 47.05% de la población reportó tener problemas con ratas y ratones y un 38.23% dijo tener problemas con cucarachas, en suma el 20.58% de la población presentan en sus casas zancudos, ratas y ratones y cucarachas, todos transmisores de enfermedades.

El 73.68% de la población encuestada dijo no utilizar el agua del río ya que tiene acceso a agua potable y esta consciente que el río contiene aguas negras o sucias que pueden causar enfermedades, sin embargo existe un porcentaje (26.31%) que se dedica a la extracción de arena, el 60% de estas personas presentan afecciones en la piel, principalmente en los pies, que se caracteriza por picazón, ampollas y salpullido generalizado.

## CONCLUSIÓN

La investigación realizada, contrario a lo que se espera con el grado de contaminación actual informa que son limitadas las enfermedades directas relacionadas con la contaminación del río, siendo los efectos principales que repercuten en la población principalmente los malos olores en época de verano, cuando las aguas residuales se encuentran en mayor concentración contaminante por la falta de aguas de lluvias.

Un segundo aspecto de interés sanitario es la presencia de vectores asociados tanto aéreos como rastreros, que en alguna oportunidad pueden afectar la salud de los habitantes de las riberas del río. El efecto paisajista ha sido mejorado por la canalización del río por parte de la alcaldía no obstante se observa indiferencia de la población al encontrarse promontorios de basura y materiales de construcción. La mayormente afectada es la fauna hídrica la cual es prácticamente nula a lo largo del río Choluteca.

Finalmente la amenaza de inundaciones es un elemento más relacionado con los pocos habitantes que aun viven en las orillas del río en situación de riesgo.

## **RECOMENDACIÓN**

Como recomendación general se establece que el SANAA continúe construyendo las plantas depuradoras que faltan en la zona Guacerique, la zona El Estadio, la zona Río Chiquito entre otras; ampliar la cobertura de servicio de alcantarillado y el buen mantenimiento de los mismos en las zonas aledañas al río como también la necesidad de continuar con la canalización del Río Choluteca con sus niveles de flujo mínimo, medio y máximo con lo cual mejoraría también la estética paisajista en la columna vertebral del saneamiento de la ciudad capital.

En entrevista realizada al Ing. Rodolfo Ochoa de la DIAT del SANAA manifiesta que por razones económicas es prioritario realizar una canalización geométrica al centro del Río que transporte el agua residual en época de verano, con un segundo nivel de terraplén también geométrico en las márgenes del río requiriéndose para este propósito únicamente actividades de topografía y movimiento de tierra.

En una segunda etapa establecer la geometría necesaria para realizar la canalización en tres niveles para flujo mínimo promedio y flujo máximo. Finalmente proceder al enchape del río en sus tres niveles tal como se realiza en otras partes del mundo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Rodolfo Ochoa por brindarme su asesoría, a la Organización Panamericana de la Salud (OPS) por su apoyo financiero para los análisis de laboratorio y a la Dirección de Investigación Científica de la UNAH por su apoyo para la culminación de este estudio de tesis.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). 2002. Estudio sobre el Control de Inundaciones y Prevención de Deslizamientos de tierra en el Área Metropolitana de Tegucigalpa de la República de Honduras. Informe Final. Informe de Apoyo.
- Andino Ana. 1986. Revisión Bibliográfica de los estudios realizados sobre la cuenca del Río Choluteca. Monografía. UNAH, Honduras.

- Balsiger. 1994. Contaminación del Río Choluteca por la ciudad de Tegucigalpa, Honduras. CESCOO-EPF.
- Banco Interamericano de Desarrollo. 1999. Reducción de La Vulnerabilidad ante amenazas naturales. Tegucigalpa.
- Caballero Zeitún, Elsa Lily. 2001. Construcción de Vulnerabilidad Humana. Resumen de Tesis Doctoral. Postgrado Latinoamericano en Trabajo Social, UNAH, Tegucigalpa.
- Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO).1996. Estudios de residuos industriales en Tegucigalpa, Honduras.
- Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO). 1997. Estudio de nueve efluentes en Tegucigalpa, Honduras.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/ Organización Panamericana de la Salud. 2000. Prevención de la Contaminación de la pequeña y mediana Industria. Lima.
- Clare Tatiana. 1982. Estudio de la contaminación del Río Choluteca a su paso por las ciudades de Comayagüela y Tegucigalpa, UNAH, Honduras.
- Cruz G. 1987. Análisis de Macroinvertebrados Bénticos en el Río Choluteca y en dos de sus principales afluentes en Tegucigalpa.
- Cruz G. y otros. 1987. Análisis de los Parámetros Físicoquímicos asociados a macroinvertebrados bentónicos en el Río Choluteca y sus cabeceras.
- CTN-CALAGUA-CAPRE. 1997. Normas Técnicas de Las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario. Tegucigalpa. Honduras.
- División de Investigación y Asistencia Técnica (DIAT) del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados.
- Estudio de Rehabilitación Ambiental en Cuatro Subcuencas Hidrográficas del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para Tegucigalpa. 2005. Consultores ESA y Lotti y Asociados.
- Manual de Disposición de Aguas Residuales. 1991. Cooperación Técnica República Federal de Alemania.
- Manual para el Control de las Enfermedades Transmisibles. 1997. Organización Panamericana de la Salud.
- Myton, Ponce et al. 1992. La Cuenca del Río Choluteca. Laboratorio de Limnología-OEA, Departamento de Biología, UNAH.
- Montoya Irasema. 1997. Fuentes de Contaminación de Cuerpos Receptoras de agua en Honduras. SANAA/OPS.
- Ochoa Rodolfo et al 2001. Análisis del monitoreo del Río Choluteca. DIAT/SANAA.
- Ochoa Rodolfo et al 2002. Análisis del monitoreo del Río Choluteca, Periodo Seco y Periodo Húmedo. DIAT/SANAA.
- Ochoa Rodolfo et al 2003. Análisis del Río Choluteca, Periodo Seco y Periodo

- Húmedo. DIAT/SANAA.
- Ochoa Rodolfo et al 2004. Análisis del Río Choluteca, Período Seco y Período Húmedo. DIAT/SANAA.
- Ochoa Rodolfo. 2004. Ficha Técnica N. 5, DIAT/SANAA.
- Ochoa Rodolfo. 2005. Ficha Técnica N. 7, DIAT/SANAA.
- Ortiz Pedro. 2006. Soluciones Técnicas para el tratamiento de Aguas Residuales en Tegucigalpa. III Simposium de Ingeniería Ambiental “La Gestión del Riesgo en Tegucigalpa”.
- Organización Panamericana de la Salud. 2004. Manual de Evaluación de daños y necesidades en salud para situaciones de desastre.
- Paniagua Sergio. 2002. Desastres y Emergencias. Costa Rica.
- Plataforma del Agua. 2004. Agua y Desarrollo. Tegucigalpa, Honduras.
- Propuesta Nacional de Normas para Agua de Uso en Preservación de la Flora y Fauna (Calidad Básica del Agua). 2001. CAPRE/Secretaría de Salud, Tegucigalpa, Honduras.
- Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, Edición N. 9, Julio 2005.
- Rigola Miguel. 1989. Tratamiento de Aguas Residuales.
- Secretaría de Salud/CAPRE. Borrador, 2001. Norma Técnica Nacional para Agua, Tegucigalpa, Honduras.
- Tábora Fabiola. 2003. Diagnóstico rápido de la Cuenca del Río Choluteca. USAID.
- Unidad de Gestión Ambiental de la Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2006.

[www.cepis.ops-oms.org/enwww/eva2000/honduras/informe/inf-05.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/enwww/eva2000/honduras/informe/inf-05.htm)

[www.iadb.org/regions/re2/consultative\\_group/\\_vti\\_bin/shtml](http://www.iadb.org/regions/re2/consultative_group/_vti_bin/shtml).

[www.k12science.org/curriculum/diproj/es/](http://www.k12science.org/curriculum/diproj/es/)

[www.lennotech.com/espanol/formulario-de-consulta.htm](http://www.lennotech.com/espanol/formulario-de-consulta.htm)

<http://njnie.dl.steventech.edu/curriculum/diproj2/es/fielbook/oxigeno.shtml>

<http://outreach.ecology.uga.edu/htm>

[www.cep.unep.org/pubs/techreports/tr40es/index.html](http://www.cep.unep.org/pubs/techreports/tr40es/index.html)

<http://agua.ecoportal.net/nosotros>

[www.arqhys.com/construccion/septicas\\_fosas.html](http://www.arqhys.com/construccion/septicas_fosas.html)

[www.purewaterplanet.com/sp/faq.htm](http://www.purewaterplanet.com/sp/faq.htm)

[www.unicef.org/voy/spanish/explore/wes/explore\\_1917.html](http://www.unicef.org/voy/spanish/explore/wes/explore_1917.html)

## **Recursos hídricos, contaminación y sociedad civil en la región occidental de Honduras**

Jorge Humberto Orellana\*  
Francisco Machado Leiva\*  
Álvaro Rivas Guzmán\*

### **RESUMEN**

El occidente hondureño es rico por su oferta ambiental, recursos hídricos, biodiversidad. Diferentes organizaciones de desarrollo están preocupadas por el manejo del recurso hídrico en la región, ejerciendo acciones de investigación e incidencia política ambiental.

El objetivo con el presente trabajo es presentar el rol fundamental de la sociedad civil para evaluar y medir indicadores químicos de calidad de agua de ríos y afluentes del río Higuito (Lara, San Andrés), así como presentar datos para generar conciencia de los posibles problemas ambientales y en la salud humana de los pobladores, y como a partir de estas evidencias científico técnicas se plantea el posible riesgo de la calidad del recurso hídrico de la principal ciudad de occidente, Santa Rosa de Copan.

Se realizó un muestreo de aguas para medir propiedades físicas y químicas en diferentes quebradas del municipio de la Unión. Se entrevistó a líderes y lideresas de las aldeas cercanas, así como a técnicos de ONGs y gobiernos locales. Se evidencia a partir del análisis químico del agua presencia de metales en tres corrientes de aguas superficiales, por encima de lo permitido por la Organización Internacional de la Salud. Además se aprecia la vulnerabilidad ambiental que presentan las cuencas por acción de la industria minera, agricultura, falta de políticas y planes de manejo ambiental. Se valora el rol fundamental en la protección de los recursos naturales de la sociedad civil organizada.

Es fundamental integrar el conocimiento científico técnico liderado por los centros de investigación o universidades con organizaciones de sociedad civil, e instancias

---

\* Msc Jorge Humberto Orellana, [jorellana4000@yahoo.es](mailto:jorellana4000@yahoo.es)  
Centro Universitario de la Región Occidental CUROC-UNAH

\* Msc. Francisco Machado Leiva  
Presidente Ejecutivo Asociación de Organismos no Gubernamentales

\* PhD. Alvaro Rivas Guzmán, [arivasgot@hotmail.com](mailto:arivasgot@hotmail.com)  
Universidad de Göttingen, Alemania

gubernamentales responsables de la protección ambiental y de recursos hídricos, para coordinar acciones eficaces y eficientes en la protección del recurso hídrico.

**Palabras Clave:** *Sociedad civil, Contaminación, Agua.*

## **ABSTRACT**

The Western Honduras is rich because of the environmental offer, hidryc resources, biodiversity. Different development organization are concern about the hidryc resources management of the region, taking action in the areas of research and environmental policy incidence.

The main objective of this work its to present the main rol of the civil society in order to evaluate and measure the presence of chemical components and water quality of the rivers and river affluent (Lara and San Andres) and so to present data in order to promote conciousmess of the possible environmental problems and its impact on the human health population, and from the base of these results base on scientific evidence, determine the quality of the water of the city of Santa Rosa de Copan.

Simples were taken in order to measure the quality of the water, the simple were taken from different point of the Lara's river on the county of La Unión. Interviews were performed to community leaders and staff of NGO's working in the area.

Base on previous analysis, heavy metals were found in the water of the affluent of the Lara's river. Besides the vulnerability of the Lara river because of the mining industry, agriculture lack of policies and environmental management planning. Its important to determine the rol of the civil society in order to protect and preserve the environment.

It is fundamental to integrate the scientific knowledge, leaded by universities and research centers, civil society organizations and governmental offices responsible to protect the environment and the hidryc resources, in order to coordinated actions for the protection of this resources.

**Key words:** *Civil society, pollution, water*

## INTRODUCCIÓN

El derecho al agua está inseparablemente relacionado con otros derechos humanos, incluidos el derecho a la salud, el derecho a la vivienda y el derecho a alimentos adecuados. Por consiguiente es una responsabilidad de todos los actores de la sociedad: Organizaciones del Estado, Organizaciones Privadas, ONG's, Organizaciones de Sociedad Civil, empresarios, centros de investigación y educación, de trabajar por el cuidado del agua como recurso público.

El occidente Hondureño es rico en su oferta ambiental específicamente en recursos hídricos beneficiando el desarrollo del país y países vecinos -El Salvador, Guatemala- pues en esta zona nacen ríos importantes como por ejemplo el Lempa y Chamelecón. Por consiguiente, cuidar, conservar y trabajar en propuestas sostenibles económicamente y ambientalmente son una urgencia y prioridad para la región. Las cuencas de la región exigen de un mejor manejo tanto en su parte técnica como político-administrativa además de contar con la participación activa de la sociedad civil en el proceso de protección, cuidado e incidencia política ambiental para los recursos hídricos que garanticen el éxito de la protección ambiental y del recurso agua.

En este sentido las principales amenazas en Honduras de sus cuencas son: Ausencia de planes de manejo; ausencia en el manejo racional de los residuos sólidos y desechos de la agroindustria, deforestación, etc.

Nuestro propósito con el presente trabajo es sensibilizar a la opinión pública y científica de la importancia en debatir sobre los problemas ambientales, específicamente los recursos hídrico, los peligros relacionados con la contaminación del agua y las estrategias de incidencia surgidas desde las necesidades propias de la población, con la firme convicción que sólo con acciones coordinadas y con el conocimiento científico pertinente, se podrá incidir ante los tomadores de decisiones para formular políticas públicas eficaces a favor de las comunidades más postergadas y excluidas del país, aprovechando además los esfuerzos que desde la sociedad civil organizada se realizan en favor de la defensa de los recursos naturales como bienes públicos en el país. Así, pues, con el apoyo coordinado de universidades, gobiernos locales, organizaciones de la sociedad civil es que se podrá proponer ante los tres poderes del Estado iniciativas de ley que protejan los recursos hídricos, forestales y ambientales de la región occidental y del país en general.

## **MÉTODO**

### **Diseño**

En la presente investigación se han utilizado dos metodologías diferentes: Para abordar todo lo relacionado con la participación de los actores locales se ha requerido las técnicas metodológicas de la investigación acción participativa (IAP) Con el fin de recoger las apreciaciones y percepciones de los actores de la sociedad civil de la región respecto a sus recursos hídricos y para la presentación de indicadores químicos de calidad de suelos, se tuvo la colaboración del Centro de Investigaciones Acuáticas CIRA adscrita a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN, por lo que se trabajó con sus técnicas y metodologías de laboratorio para análisis de agua.

### **Población**

Se realizaron muestras aleatorias en los ríos Lara, Quebrada San Andrés y Casas Viejas, del municipio de la Unión Copán.

### **Entorno**

El muestreo de agua se hizo en los ríos Lara, Casas Viejas y San Andrés del municipio de la Unión Copán que son afluentes del río Higuito que abastece de agua a la ciudad de Santa Rosa de Copán, con la participación de líderes comunitarios de las respectivas aldeas circunvecinas de estos ríos.

### **Intervenciones**

#### **Evaluación de indicadores da calidad (cuantitativos)**

Se realizó el levantamiento de cinco muestras de agua, tomadas en diferentes puntos de una micro-cuenca denominada río Lara afluente del río Higuito. Cercanas a la explotación minera de la zona. Las muestras fueron georeferenciadas.

#### **Analizándose los siguientes parámetros de campo: pH, Conductividad eléctrica**

Para el análisis de laboratorio de metales pesados: Aluminio total, Arsénico, total, Cadmio total, Cinc total, Cobre total, Cromo total, Manganeseo total, Mercurio total, Níquel total, Plomo total, Selenio total, los análisis han sido efectuados con un espectrofotómetro UV/VIS que es una técnica que permite una alta precisión en los análisis del agua.

#### **Observaciones Directas**

Se constató a través de la observación directa que en zonas de vocación forestal altamente erosionada y eliminación de la capa orgánica del suelo producto de la

explotación minera. Algunas comunidades como San Miguel en la Unión Copán, dista a sólo 300 metros de distancia de las pilas de lixiviación de la industria minera.

### **Análisis de muestras**

Los análisis han sido efectuados con un espectrofotómetro UV/VIS que es una técnica que permite una alta precisión en los análisis del agua, haciéndose las respectivas comparaciones de las muestras recolectadas con los niveles permitidos por la Organización Mundial de la Salud OMS. Se recogió además la opinión a través de la entrevista con los pobladores sobre la percepción que tienen sobre el tema de la minería y los problemas de contaminación de los afluentes de agua.

## **RESULTADOS**

### **Análisis y contexto: El Recurso hídrico**

Indudablemente, el mundo enfrenta una crisis cada vez más preocupante con el tema del agua, que va desde sequías en algunas partes del mundo, desperdicio del vital líquido en otras regiones producto de la agricultura extensiva, hasta problemas relacionados con la demografía, el calentamiento global y la contaminación por las industrias de producción y de extracción de metales. En su libro "La tierra explota, superpoblación y desarrollo" Giovanni Sartori, nos recuerda *El agua es cada vez más el bien primario que de manera más clara separa el Norte del Sur del Mundo*: por lo que los debates en este sentido son que en un futuro próximo las guerras sean por el abastecimiento y el control del recursos hídricos, hasta la fecha son simples debates sin embargo ya hay países y Estados en el mundo que defienden el derecho por la soberanía de ríos que bañan sus fronteras. Hablar de agua en los países en desarrollo significa dirigir la mirada a una serie de problemas que tienen que ver con la subsistencia en sus habitantes, con educación, con salud y con contaminación para citar algunos ejemplos.

El agua como recurso estratégico para una Nación y específicamente para el Occidente de Honduras, es un tema que debe estar en la agenda de las organizaciones de la sociedad civil, debido al riesgo de explotación de este recursos que presenta la globalización materializados en los Tratados de Libre Comercio y el Plan Puebla Panamá (PPP), pues para los intereses geopolíticos de algunos países, el agua representa uno de los recursos de mayor importancia.

Hay que tener en cuenta que en Centroamérica hay aproximadamente 120 cuencas hidrográficas principales, de las cuales 23 son internacionales; éstas significan el 19% de los sistemas hídricos de la región y el 10.7% de las cuencas internacionales del planeta. (Ramos 2004) Por dicha razón algunas iniciativas como el Plan Puebla

Panamá, pretende apropiarse del recurso hídrico a través de represas hidroeléctricas y un acueducto continental que vienen desde Colombia, pasando por Centroamérica ciudad de México hasta la zona sur de USA. De allí el reto de la sociedad civil, las universidades y las comunidades locales para que se organicen e incidan ante sus gobiernos locales y nacionales para defender la soberanía del agua en Mesoamérica. En Honduras, El Salvador, Guatemala y Nicaragua hay proyectos en ejecución para la construcción de represas hidroeléctricas:

Por ejemplo la represa El Tigre según los debates que ha habido al respecto, toda el agua que generaría esta represa sería cedida a El Salvador para su administración y posterior venta a Honduras, lo que resultaría una mala negociación del recurso hídrico y de la propia soberanía del país.

Uno de los temas centrales que ha venido desarrollando la sociedad civil en el Occidente hondureño a través de la Alianza Cívica por la Democracia ACD, es la defensa y protección de los recursos hídricos como consecuencia del impacto ambiental generado por la industria extractiva de la minería en la región. En Honduras hay más de 372 concesiones de exploración y 57 de explotación minera. A nivel nacional existen un total de 335.359 kilómetros cuadrados en poder de las mineras, prácticamente el 30% del territorio nacional.

La Ley General de Minería de Honduras en 1998 (Decreto legislativo 292 de 1998) ha facilitado el otorgamiento de licencias y concesiones mineras que les confiere derechos de explotación a estas empresas en gran parte del territorio hondureño sin considerar: la participación local, la protección ambiental de cuencas, poblados, pagos de impuestos muy bajos (1% de impuestos al municipios), débiles derechos laborales y ninguna consideración para la salud de pobladores.

La Industria minera ha aumentado en la región del occidente hondureño, existiendo varias concesiones para la explotación. Los riesgos de la actividad minera son: Contaminación de las cuencas hídricas con cianuro y metales pesados; disminución del caudal de aguas, a largo plazo contaminan con el residuo ácido o básico de minas que es el desprendimiento de metales pesados de las rocas y se depositan progresivamente en las fuentes de agua, representando eminentemente un peligro para los consumidores del agua en el occidente de Honduras.

### **Riesgos en el consumo del Agua el caso de Santa Rosa de Copán**

La ciudad de Santa Rosa de Copán, que es la principal cabecera municipal de Occidente y que alberga más de 50.000 habitantes, se encuentra en una zona de riesgo por contaminación de sus afluentes hídricos para el consumo humano por acción de la industria minera, ya que a unos pocos kilómetros de esta ciudad en el

municipio de la Unión Copán, se encuentra una de las empresas mineras que operan en el país desde hace varios años. Realizando la extracción de oro a cielo abierto con utilización de cianuro, representando un peligro por aguas residuales del proceso de extracción del oro, que pueden fácilmente contaminar los afluentes del Río Higuito que abastece de agua para consumo a la ciudad de Santa Rosa de Copán, considerando además que este afluente surte también de agua a otros municipios por donde atraviesa su cauce del río.

Se estima que en el 2003 se vertieron 300 galones de cianuro al río Lara lo que produjo la muerte de más de 18.000 peces y en junio del 2006 descargaron las pilas No.2 y 3 sin cumplir con los requisitos administrativos ante la Dirección de Fomento a la Minería (DEFOMIN), y sin informar a las entidades gubernamentales respectivas (ASONOG 2007). Esto evidencia la situación de riesgo de la ciudad de Santa Rosa de Copán, frente al consumo de agua contaminada. Es por ello que actualmente se realizan acciones de desarrollo, investigación e incidencia en temas de gobernabilidad del recurso hídrico, manejo de cuencas, pago por servicios ambientales, contaminación química, manejo de aguas servidas, ley de agua, ordenamiento territorial entre otras.

La Ley general del Ambiente 1993 plantea la importancia del ordenamiento territorial como una estrategia técnica para el manejo adecuado, sostenible y con criterio ambiental de las cuencas, infortunadamente algunas instituciones municipales de la región carecen de información técnica y voluntad política para el ejercicio de dichas actividades.

### **Estado del Problema Local**

Santa Rosa de Copán y los municipios contiguos: Talgua Lempira, Cucuyagua y Corquín Copán, Belén Gualcho, Sensenti, La Labor, San Marcos y Lucerna Ocotepeque, forman parte de la microcuenca del río Higuito, muchos de estos municipios se abastecen de esta agua superficial, o drenan sus aguas residuales al mismo. De ahí que las principales amenazas de esta microcuenca son:

1. Vertimiento de sustancias químicas por la industria minera.
2. Vertimiento de aguas negras de los municipios de la parte media de la cuenca.
3. Ausencia de planes de manejo ambiental.
4. Ausencia de un monitoreo de alerta temprana para la evaluación periódica de metales pesados.
5. Deforestación

Esto representa un reto para diferentes sectores no sólo de las organizaciones

ambientales de la sociedad civil, sino la voluntad política de los gobiernos locales, la cooperación internacional y sobre todo las universidades que tienen presencia en esta región.

### **Participación de la Sociedad Civil y Organizaciones no Gubernamentales en procesos de incidencia ambiental**

La gestión de riesgo es la formulación y la implantación de medidas y procedimientos técnicos y administrativos orientados a prevenir, controlar o reducir los riesgos existentes. Dentro de los instrumentos de gestión ambiental se encuentran los Programas de vigilancia ambiental, que consisten en el seguimiento sistemático de la variación temporal y espacial de varios parámetros ambientales referidos a la calidad de los suelos, agua, etc. La participación ciudadana en la gestión ambiental es un derecho y debe entenderse como el conjunto de acciones que pueden realizar los actores sociales involucrados para atender sus preocupaciones ambientales. La comunidad local es un actor principal con intereses legítimos sobre su hábitat y medio ambiente. Como actor activo no sólo tiene el interés sino el derecho y la responsabilidad de tomar acciones para prevenir daños ocasionados por los fenómenos naturales, las actividades industriales y su propia actividad cotidiana. (Martines Castillo Z, 2003).

En este sentido consideramos que uno de los retos fundamentales que tienen las organizaciones de desarrollo y la sociedad civil en el occidente de Honduras, es velar porque sus recursos hídricos sean manejados con la responsabilidad ambiental que merecen todos sus habitantes, a tal efecto la participación de las organizaciones puede especificarse en dos niveles:

1. Involucrando a técnicos de las ONGs, Juntas de Agua, Unidades Municipales Ambientales UMAS correspondiente a cada municipio y así adquieran destrezas técnicas para la toma de muestras de agua y evaluación de los niveles permisibles de los metales pesados en el agua de consumo.
2. Las organizaciones de desarrollo aglutinadas en redes, y otras entidades de sociedad civil como son patronatos, organizaciones gremiales campesinas, indígenas, cooperativas, iglesias, han logrado constituir Alianzas como instancias que tiene el poder movilizador de la sociedad civil para reivindicar la protección ambiental de las cuencas hidrográficas, como consecuencia de las malas políticas ambientales públicas específicamente las Leyes de minería, forestal y recursos hídricos, por lo que su labor de incidencia, movilización, reclamo y sensibilización es fundamental para la protección de las fuentes de agua y el ambiente en general.

A nivel regional y nacional, ha habido un proceso participativo de parte de estas instituciones para conocer las diferentes leyes relacionadas con recursos naturales, además de elaborar una estrategia de incidencia política para proponer y exigir ante las instancias gubernamentales respectivas una nueva política ambiental referente al manejo de la minería, manejo del bosque y agua. Con el fin de realizar incidencia política ambiental toda la información técnico-científico de indicadores de metales pesados solo tiene validez jurídica en la medida que en la toma de muestras se involucren figuras institucionales públicas como Derechos Humanos, Fiscalía del Ambiente, y los esfuerzos que desde sociedad civil se hacen por la transparencia y el combate a la corrupción, a través de los comisionados municipales y las comisiones ciudadanas de transparencia de cada municipio.

### Parámetros químicos de las muestras de agua

La Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable, en su *Título III Especificaciones Técnicas, Artículo 3*, que reza “esta norma de calidad de agua establece los requisitos básicos a los cuales debe responder la calidad del agua suministrada en los servicios para consumo humano y para todo uso doméstico, independientemente de su estado, origen, o grado de tratamiento”. Por lo tanto, los Resultados de los Análisis de Laboratorio fueron evaluados conforme al Acuerdo 084 de esta Norma y a continuación presentamos los parámetros encontrados y sus concentraciones máximas permisibles. En la Tabla 1 se muestran los valores de metales pesados de mayo del 2006 de Manganeso, Plomo, Arsénico y se aprecia como superan el valor permitido, según Acuerdos 084.

**Tabla 1**  
**Concentraciones de Metales pesado en las muestras Mayo 2006**

Identificación Muestra	Metales encontrados	Concentración máxima permitida según Acuerdo 084	Concentración µg/l	Concentración Mg/l
Quebrada San Andrés	Manganeso	0.01 mg/l*	99.00	0.099
	Plomo	0.01 mg/l	13.77	0.0137
	Arsénico	0.01 mg/l	15.75	0.0157
Quebrada Casa Vieja	Manganeso	0.01 mg/l*	67.00	0.067
Río Lara Aguas Abajo	Manganeso	0.01 mg/l*	47.00	0.047
Río Lara (CPD)	Manganeso	0.01 mg/l*	21.00	0.021

Fuente: Centro Humboldt Nicaragua-ASONOG.

Nota: \* microgramo por litro (µg/l) se divide entre 1000, para obtener miligramos por litros (mg/l).

**Quebrada San Andrés:** el manganeso presenta concentraciones de 0.09 mg/l, por encima del valor recomendado que es de 0.01 mg/l, el plomo con concentraciones de 0.0137 mg/l y el arsénico con concentraciones de 0.015 mg/l se encuentran por encima del valor máximo admisible que es de 0.01 mg/l para ambos metales.

**Quebrada Casas Viejas:** Se encuentra el manganeso por encima del valor recomendado que es de 0.01 mg/l, dado que presenta concentraciones de 0.067 mg/l.

**Río Lara:** Tanto en la parte media como baja el manganeso presenta concentraciones por encima de lo permitido de 0.02 mg/l y 0.0046 mg/l respectivamente.

En otro estudio realizado en febrero del 2007, con tres puntos de muestreo, arrojaron los datos concentraciones de metales pesados en el agua muy altos de lo permitido y se consignan en la Tabla No. 2. Para el río Lara el Aluminio es de 0.12 mg/l; Cobre 3.2 mg/l y Hierro 22.6 mg/l. Para el río Casas Viejas el Cobre es de 3.42 mg/l; Hierro 29.1 mg/l y Manganeso 1.3 mg/l. Para la Quebrada San Andrés el Aluminio es de 0,81 mg/l; Cobre 2,97 mg/l y Hierro 30,2 mg/l.

**Tabla No. 2**  
**Concentraciones de Metales pesado en las muestras de febrero 2007**

Valor/Lugar	Río Lara San Miguel	Río Lara San Miguel	Quebrada San Andrés
PH	8.60	8.80	7.60
Conductividad* $\mu\text{s}/\text{cm}$	180	4.40	700
TDS mg/l	90	220	350
Aluminio total mg/l	0.12	0.02	0.81
Cobre total mg/l	3.2	3.42	2.97
Hierro total mg/l	22.6	29.1	30.2
Manganeso total mg/l	0.04	1.3	0.19
Zinc total mg/l	> 0.01	0.11	> 0.01

Fuente: Flaviano Bianchini- ASONOG 2007

### **Resultados obtenidos como producto de la movilización de sociedad civil.**

La información técnica obtenida a partir de la investigación de la calidad química del agua en occidente, permite sustentar y soportar científicamente las denuncias realizadas por organizaciones como la Alianza Cívica por la Democracia en defensa del interés público y ambiental; esto ha permitido realizar acciones de incidencia

política a nivel de movilización y sensibilización de la población, así como otras acciones:

1. Tres movilizaciones masivas con comunidades locales para exigir al gobierno la derogación de la actual Ley de Minería.
2. Creación de mesas de discusión para formular y proponer iniciativas de políticas públicas relacionadas con la Ley Forestal, Ley de Minería, Ley de Agua, etc.
3. Presentación de una propuesta de nueva ley de Minería el pasado 18 octubre del 2006.
4. Tres reuniones con el Ejecutivo o sus representantes.
5. Dos reuniones con el Congreso Nacional de la República 2006- 2007
6. Participar con aportes técnicos y políticos ante la Secretaría de Recursos Naturales para un nuevo borrador de ley de minería.
7. Diseño interno de una estrategia de Incidencia Política para cambiar políticas públicas que defiendan los recursos naturales y el interés público.
8. Sensibilización en la opinión pública nacional a través de los medios de comunicación de la problemática ambiental generada por la industria minera para las cuencas hidrográficas.

Sin lugar a dudas, es fundamental resaltar el papel que juegan las organizaciones de sociedad civil en la defensa del interés público para la protección y buen manejo de nuestros recursos hídricos, por lo tanto, las instancias de base formadas en cada uno de los municipios deben cumplir con su labor de vigilar estos recursos que son patrimonio exclusivo de sus habitantes. Organizaciones como las Juntas de Agua deben ir mas allá de su papel administrador del agua en las comunidades, enfocando su trabajo también hacia la adquisición de las destrezas técnicas para continuar con la labor periódica de vigilar la calidad del agua que consumen sus comunidades.

Consideramos que la academia debe jugar un papel protagónico en la defensa de nuestros recursos, aportando sus conocimientos técnicos y científicos en la búsqueda de la calidad del agua, la protección de los recursos, prevenir la contaminación y sobre todo de velar por mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la región occidental y del país en general.

## **DISCUSIÓN**

En la medida que nos acercamos a la realidad socioeconómica, cultural, política y ambiental de nuestras comunidades, nos damos cuenta del enorme potencial que existe en la región occidental en cuando a sus oportunidades de crecimiento y

desarrollo, pero también nos damos cuenta de los peligros ambientales que la zona es sometida producto de las decisiones gubernamentales, sobre todo con los recursos naturales y especialmente con el consumo del agua de sus habitantes.

Es indudable el nivel de apropiamiento que están adquiriendo organizaciones de la sociedad civil para luchar por los recursos naturales del país, y sobre todo del agua, que representa la salud y la vida para miles de personas del occidente del país, si bien es cierto, existen los peligros inminentes de contaminación se hace necesario los diagnósticos y estudios científicos para vigilar constantemente los niveles de contaminación que pudieran provocar industrias como la extracción minera, así mismo valorar los beneficios que la misma trae consigo al país con los peligros que puede representar para las comunidades más pobres de la región. Este fenómeno deber permitir un mejor acercamiento entre la academia y las organizaciones de sociedad civil para que juntos se puedan proponer las estrategias de incidencia política para que los tomadores de decisiones legislen para el bien común y no de ciertas clases con privilegios especiales en el país. Según las muestras del análisis de agua, existe una notoria presencia de metales pesados, por encima de los valores permisibles a nivel internacional, lo que debe preocupar a ciudades como Santa Rosa de Copán, donde el consumo de agua proviene de afluentes cercanas a la industria minera. Consideramos que por la falta del equipo técnico adecuado para el análisis periódico del agua, tenemos que acudir a otras instituciones de países vecinos, pero es imperativo que estos estudios se realicen en instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, y con ello se realicen las pruebas periódicas y sistemáticas para la vigilancia de la calidad del agua en la región.

## CONCLUSIONES

Se ha llegado a evidenciar la descarga de aguas residuales por parte de la industria minera a las aguas del Río Lara, afluente del Río Higuito, principal abastecedor de agua potable de la ciudad de Santa Rosa de Copán, lo que representa un grave peligro en el corto y mediano plazo en la salud de sus habitantes. Este afluente también es aprovechado por otros municipios aledaños.

Los resultados de la quebrada de San Andrés, demuestran presencia de tres de los once metales analizados, por encima de los valores permisibles, esto se debe al material estéril de las *pilas de lixiviación*, los cuales se han lixiviado hacia las aguas superficiales y muy probable a las subterráneas, debido a la textura franco arenosa del suelo y franco arcillo arenosa del subsuelo y a la pendiente de los terrenos de este municipio.

Los dos estudios químicos realizados en diferentes fechas coinciden en que hay niveles más altos de lo permitido de Aluminio, Cobre, Hierro, manganeso en tres de los principales afluentes cercanos a la industria minera (Río Lara, Casas Viejas y San Andrés).

En nuestras observaciones directas se puede apreciar un cambio drástico del paisaje y del deterioro de los bosques, fuentes de agua y suelo, así como el desplazamiento que han tenido comunidades como San Andrés en el municipio de la Unión Copán, lo cual ha representado una pérdida en la cultura y costumbres de sus habitantes.

Existe una notable preocupación por parte de los pobladores de la región, así como de las organizaciones de la sociedad civil por el medio ambiente en la región, y por lo tanto esto representa una oportunidad para que la academia y el colectivo de universidades puedan involucrarse a través de sus conocimientos técnicos y científicos en la problemática ambiental de la región y sobre todo del recurso hídrico, ya que occidente es considerada una de las regiones que más produce agua, la cual abastece lógicamente al resto del país a través de sus ríos.

El movimiento social en Honduras y sobre todo en la región occidental ha logrado una forma alternativa para exigir reivindicaciones ambientales, sociales y públicas conservando la independencia de partidos políticos tradicionales. Pero estas organizaciones deben tener planes estratégicos que les permita ser eficientes en sus luchas para la obtención de mejores resultados.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiéramos dar nuestro agradecimiento a las comunidades de San Miguel y San Andrés en la Unión Copán, al presbiterio de occidente por su fuerte lucha por la defensa y ética de la vida, al Instituto Humboldt donde se realizaron los análisis de las muestras recolectadas, a la Asociación de Organismos no Gubernamentales por el apoyo logístico y financiero para estos estudios así como a la cooperación solidaria internacional.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Caballero Zeitun E. Madrid Rossell Z, Valladares L, Castilla J, Carias P, Corrales R, Najarro, T, et.al. El occidente de Honduras, tierra de carencias y esperanzas: tendencias de desarrollo e impactos de los procesos de intervención pública en los últimos 50 años. 1 ed., Tegucigalpa: Alin; 2005.

- Lovelock J, La venganza de la Tierra. 1 ed., Barcelona: Planeta; 2007.
- Martínez Castillo Z. Guías prácticas para situaciones específicas: manejo de riesgos y preparación para respuestas a emergencias mineras. 1 ed. Santiago de Chile. CEPAL División de Recursos Naturales e Infraestructura. 2003.
- Sartori, G. Mazzoleni, G. La Tierra Explota, Superpoblación y Desarrollo. 1 ed., Madrid: Gráficos de Rogar, S.A.; 2003.

### ***Estudios Técnicos***

- Bianchini Flaviano. Estudio Técnico Calidad de agua en el área de explotación minera del proyecto San Andrés (municipio de la Unión, departamento de Copan). Santa Rosa Copán. 2007
- Machado, F, Cárcamo, C. Las industrias extractivas: Minería, un mal negocio para Honduras. ASONOG. Oxfam, Christian Aid, 2005. 138 p.
- Moran Robert E., Cual es el gran secreto, observaciones y comentarios acerca de la Mina de San Andrés. Santa Rosa Copán: Dan Church Aid. 2005.
- Moran, Robert E, Cyanide in Mining: Some Observations on the Chemistry, Toxicity and Analysis of Mining-Related Waters. En: Proc. Central Asia Ecology99, Lake Issyk Kul, Kyrgyzstan. June 1999.
- Ortiz Felipe. Estudio Técnico. Santa Rosa Copán: Centro Humboldt; 2006.
- Ramos Delgado G.C. Privatización y saqueo del agua en Mesoamérica. Revista Ecoportal. 2005





**DIÁLOGO  
ABIERTO**



## El manejo del agua en Honduras

Ciencia y Tecnología (CT) entrevista al Doctor Rodolfo Ochoa Álvarez, Ingeniero Civil, con una Maestría en Ingeniería Ambiental, especialista en Hidrogeología, y actualmente es Director y Asesor Técnico de Investigación y Análisis Técnico en Agua y Saneamiento (sectorial) - Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) desde 1998. En su larga trayectoria como investigador, tiene en su haber varias publicaciones y participaciones, así mismo ha sido miembro fundador del Grupo interinstitucional de Agua Potable y Saneamiento en Honduras, ahora constituido en Red, Miembro fundador de la plataforma del Agua de Honduras (PAH), Miembro fundador de la Comisión Nacional de Biodiversidad, Miembro de la Asociación Hondureña de Ingeniería Sanitaria (AHIDIS) y Miembro fundador de la Asociación Nacional del Agua GWP-Honduras.



**Rodolfo Ochoa Álvarez**

### **CT/ ¿Cómo resumiría el problema del agua en nuestro país?**

R/. El problema del agua podríamos resumirlo en una palabra: descoordinación. ¿Por qué descoordinación? Para que exista una adecuada gestión integral de agua potable y saneamiento, lo que nosotros denominamos GIAPS, es necesario que trabajen de la mano el Estado, las Municipalidades y la Sociedad Civil. Por lo pronto hay un acercamiento bastante grande entre la sociedad civil e instituciones como el SANAA, debido a que existe un programa de apoyo rural en el cual está el acercamiento entre estas dos partes; sin embargo, otros arreglos entre el Estado y las Municipalidades escapan al ámbito de coordinación con el SANAA y no hemos podido encontrar una forma de coordinar las necesidades municipales con la estrategia de gobierno y con la responsabilidad técnica existente. Esto se agrava un poco más, hablando de sociedad civil, en el sentido de que existe una gran cantidad de organizaciones no gubernamentales y organizaciones privadas de desarrollo, que tampoco tienen una coordinación entre sí, como sectores independientes. Se podría decir que existe buena intención y eficiencia en los programas propios que se desarrollan, pero el efecto multiplicador no se nota por esa falta de coordinación.

**CT/¿Cuántas cuencas hidrográficas existen en el país y cuáles están protegidas?**

R/. En este caso hay que diferenciar algunos conceptos: cuenca hidrográfica está íntimamente relacionada con el agua; el agua que llueve escurre a través de un terreno limitado por el parte aguas o sea por las montañas que circunda un río, y esta agua llega finalmente al mar. Entonces una estrategia que considere el desarrollo desde la montaña hasta el mar, es una forma de actuar. La otra es, si el concepto de cuenca lo estamos considerando como áreas protegidas, en este caso sería cuenca alta, cuencas forestales le llamamos nosotros; el término todavía no ha sido consensuado, pero sí estamos de acuerdo que el sector forestal trabaja principalmente en las micro cuencas, que formalmente se encuentran en la parte alta de las cuencas hidrográficas. Diferenciando estos conceptos, podríamos decir que existen 21 cuencas hidrográficas en el país, incluyendo las del Atlántico y las islas del Pacífico, y como áreas protegidas de micro cuencas o cuenca alta, hay 89 áreas protegidas.

**CT: A nivel estatal ¿qué acciones se están ejecutando y qué nivel de éxito se ha tenido?**

R/. Para poder desarrollar una adecuada gestión, no solamente de agua potable y saneamiento, sino de la gestión integral de los recursos hídricos, (GIRH) entendiendo esto como otras áreas de acción del agua, como son: riego, energía eléctrica, recreación, inclusive la parte de utilización del agua como transporte, caso Islas de la Bahía o las costas del país, es necesaria una coordinación más extensa incluyendo agua potable y saneamiento, porque en la GIRH, entran una serie de instituciones, y para poder regular adecuadamente el papel que les corresponde y la realización de acciones efectivas, es necesaria una nueva Ley General del Agua. La actual ley data del año 1927 según la cual uno de los usos principales del agua, era para el ferrocarril; eso nos demuestra lo obsoleto de la ley actual. En este orden, en Honduras cualquiera hace lo que quiere con el agua y con sus cursos y por eso, uno de los elementos básicos es desarrollar una nueva legislación al respecto. Desde el punto de vista del agua potable y saneamiento, se ha observado que existen leyes conexas como la del ambiente, la de las municipalidades, pero también la del ordenamiento territorial, la ley forestal, la ley de agua potable y saneamiento, y la ley general, que son las que conforman el entorno del conocimiento, regulación del recurso hídrico y su utilización. En ese sentido ya tenemos la Ley Forestal, la Ley de Agua Potable y Saneamiento, la Ley de Ordenamiento Territorial y la única que hace falta es la Ley General del Agua,

que en estos momentos se encuentra en segundo dictamen en el Congreso Nacional.

**CT/ En Honduras ¿cuáles instituciones trabajan en la gestión del agua en cuencas hidrográficas?**

R/. Nuevamente tenemos que revisar la conceptualización. Como “cuencas hidrográficas” trabajan la Secretaría de Agricultura, la SERNA (Secretaría del Ambiente y Recursos Naturales), un programa que trabaja junto con SETCO y Agricultura denominado Forcuencas, también un proyecto que aun está vigente y es el programa Mira de USAID. Contamos con iniciativas locales como Amu Prolago, El Guizayote, el proyecto de El Cajón, Guacerique y Concepción, Zamorano y otros proyectos como Lempira Sur, que consideran la cuenca hidrográfica como unidad de planificación. Como “áreas protegidas” o como “micro cuencas”, definitivamente es una actividad propia del Instituto Forestal.

**CT/ ¿Qué programas existen para la protección de cuencas hidrográficas?**

R/. Para cuencas hidrográficas, el Programa de Manejo de Recursos Naturales (MARENA), que corresponde al Programa Nacional de Desarrollo Rural, PRONADER, FORCUENCAS y MIRA son los más fuertes.

**CT/ En lo social ¿qué nivel de involucramiento tienen las comunidades y cuáles han sido las experiencias de mayor éxito?**

R/. Quiero mencionarle que la Ley Marco de Agua Potable y Saneamiento, establece como uno de los cambios en el manejo de los recursos del agua, un comité de protección de micro cuencas dentro de las juntas de agua y saneamiento. Sabemos que esto va caminando lento pero ya hay bastantes comunidades que tienen conformadas esta unidad de protección de micro cuencas, y existen otros niveles manejados por ONGs, principalmente en las áreas protegidas que mencionábamos. Cerca de Tegucigalpa, un ejemplo de ello es AMITRIGRA, que protege la montaña de La Tigra de donde se obtiene un tercio del agua para Tegucigalpa, a través de 21 manantiales que los están protegiendo correctamente. A nivel de cuenca hidrográfica podríamos mencionar el programa del Lago de Yojoa donde se han estado reuniendo todas las municipalidades que tienen relación con el agua, y siendo una cuenca hidrográfica endógena, se están haciendo los estudios en forma completa.

**CT/ ¿Cuáles son las acciones que como país se tienen para la gestión integral de los ríos, acuíferos y los recursos hídricos en general?**

R/. Bueno, la protección de los ríos es una actividad que le corresponde a la SERNA y el programa que ellos están desarrollando e impulsando en estos momentos, es la protección de la ribera de los ríos, a través de un programa que se denomina “Adoptemos un Río” y lo promueven en ferias del agua. Sin embargo a nivel de cuenca hidrográfica todavía no se tiene una estrategia, sólo lo que hemos mencionado en algunos programas donde el fin va más enfocado a la generación de proyectos que a la protección sostenida del recurso. Yo creo que en Honduras estamos todavía en pañales, a pesar de que se ha generado información básica de uso a nivel mesoamericano. Hace 10 años Honduras iba de Costa Rica y en el último quinquenio, El Salvador, Guatemala y Nicaragua se nos han adelantado en recursos hídricos al tener bien diferenciado el rol de las secretarías del ambiente respecto a las de Recursos Naturales.

Sí ha habido logros; uno de ellos es haber participado en la formación de diferentes redes que están funcionando y haciendo alguna actividad que ayuda al desarrollo de los recursos hídricos. Podemos mencionar la Plataforma del Agua de Honduras, la Asociación Nacional de Agua de Honduras (GWP), la Red de Agua y Saneamiento de Honduras (RAS-HON), la Asociación de Juntas de Agua (AHJASA), y todas ellas actúan, desde su ángulo, a nivel de capacitación rural como la AHJASA. La RAS-HON trabaja en transferencia de tecnología de otros países hacia Honduras, pero su visión está bastante enfocada en el manejo a través de organizaciones no gubernamentales.

La Plataforma de Agua de Honduras, igual que GWP, tienen una visión de desarrollar una gestión integral de los recursos hídricos, pero está emergiendo en estos momentos; apenas se tiene en GWP-Honduras (la Asociación Nacional de Agua de Honduras), la planificación centroamericana, y de allí sabremos qué acciones vamos a desarrollar a nivel de país.

**CT/ ¿Cómo valora la normatividad existente en materia de agua? ¿Es suficiente?, ¿Es la adecuada?**

R/. En cuanto a la normatividad, podemos decir que no es mucha pero tampoco es poca. La normatividad es difícil de evaluar si es suficiente o no, porque esto depende del desarrollo, depende de país a país, depende de las necesidades y la normatividad cambia inclusive de acuerdo al mismo desarrollo. En Honduras

**CT/ ¿Existe alguna investigación que nos hable de los ciclos de sequía en el país?**

R/. No conozco que se haya realizado fuera del SANAA algún acercamiento al respecto. Yo le puedo mencionar que existe una ficha técnica dentro del SANAA elaborada por la DIAT (División de Investigación de Análisis Técnico), que revisa la influencia del Fenómeno de El Niño, en la que se puede observar una periodicidad en la manifestación de este tipo de eventos. Y nos hemos extendido un poco más allá al analizar la periodicidad del fenómeno de La Niña y sus ciclos, que podrían llamarse multiciclos, porque la periodicidad puede ser en años, en decenas de años o en cientos y miles de años, pues hay una ciclisidad permanente en el asunto del agua, y hemos investigado vía internet y en entrevistas con amigos, algunas informaciones que hemos plasmado en fichas técnicas y que están disponibles para el público.

**CT/ En los distritos de riego, ¿existe un plan integral para manejar el recurso agua?**

R/. Sí existen planes integrales, aunque no en forma sistemática; más bien como una iniciativa o una necesidad que se siente entre las juntas de regantes. Platicando con un amigo de la Secretaria de Agricultura y Ganadería, me informaba que existen 6 regiones o zonas en las que están trabajando, y cuando existe necesidad de compaginar o utilizar el agua de riego para uso potable, se ponen de acuerdo y generan la reglamentación del uso que le van a dar.

**CT/ ¿Existe un sistema de alerta hidrometeorológica y cuáles son sus principales componentes?**

R/. Araíz del huracán Mitch, el servicio geológico norteamericano apoyó a Honduras con tecnología adecuada para poder prever a tiempo los desastres que pudiesen ocasionarse por eventos meteorológicos, y comenzaron a apoyar a la SERNA, al SANAA y otras instituciones en la colocación de estaciones telemétricas. Existen actualmente 75 estaciones telemétricas funcionando a nivel nacional en 15 de las 21 cuencas hidrográficas. La mayor parte de ellas tienen estaciones en cuenca alta, cuenca media y cuenca baja, con lo cual se puede dar seguimiento a las crecidas de los ríos, desde diferentes partes de un mismo río. El elemento principal que esto conlleva es una estación automática de medición computarizada en el margen de los ríos, que manda una señal a una torre, la que emite los datos a un ordenador central y este ordenador central los envía a la web. Contamos con una clave con la que puede ingresar cualquier persona a esta información, en tiempo real.

mencionábamos que la falta que se nota como un agujero negro en este aspecto, es la ley general, porque ese es el marco que nos va a dar las directrices de cómo actuar en las diferentes instituciones, en su relación con el agua. Tenemos normativa de la calidad, tenemos normativa ambiental; respecto a la calidad del agua tenemos normativa de los desechos de las aguas residuales hacia los ríos y por lo pronto, eso es más que suficiente, porque, inclusive, al adoptarse algunos criterios usados en otros países con mayores posibilidades económicas, mucho del articulado que se ha desarrollado no lo podemos cumplir, no porque no se deba, o porque no sea necesario tenerlo, sino por las cuestiones económicas

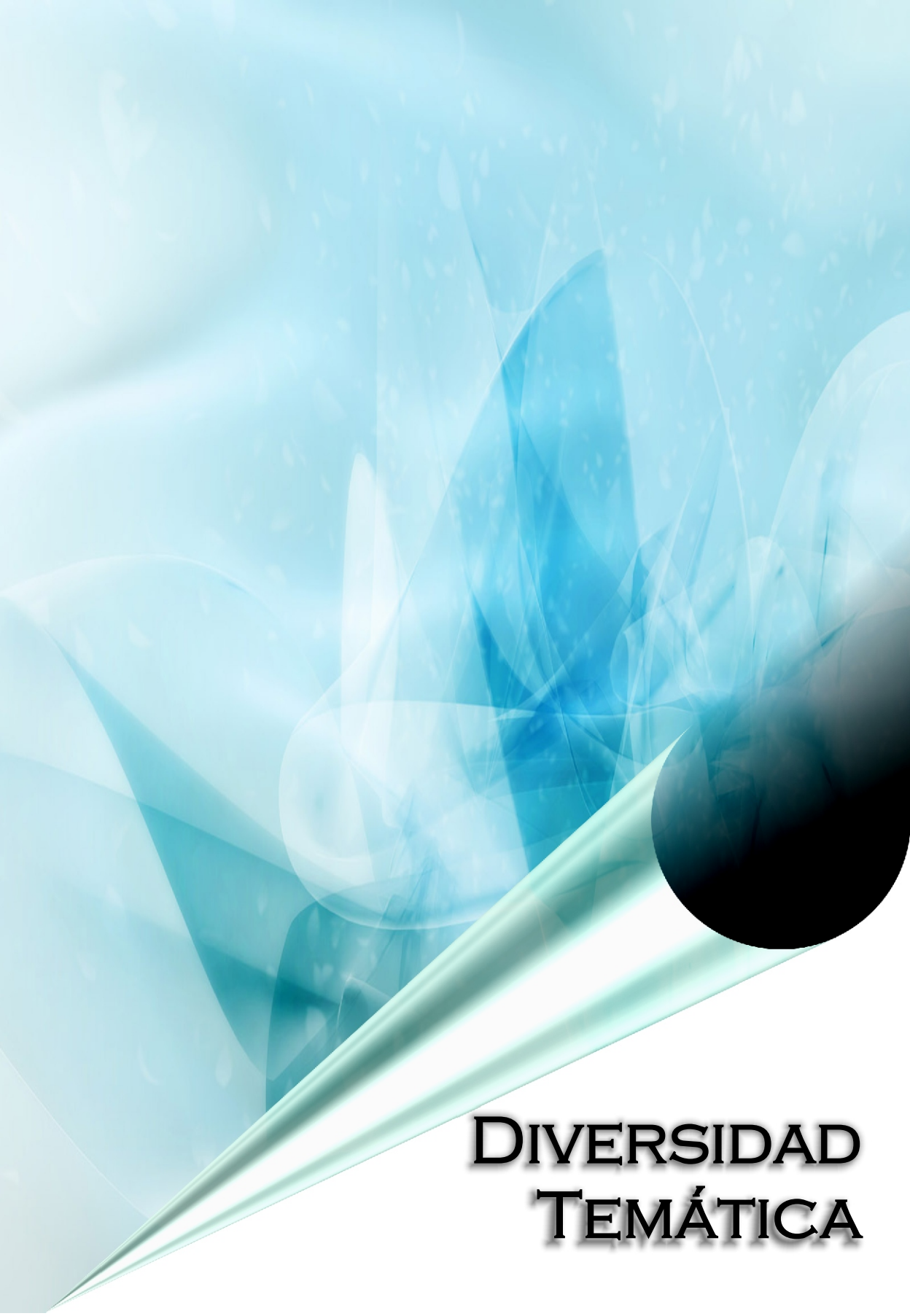
**CT/ ¿Cómo visualiza el problema del agua en los próximos 20 años?  
¿Mejoramos o empeoramos? ¿De qué depende esto?**

R/. Vamos mejorando en el sentido de ir aclarando los roles del Estado en cuanto al manejo del recurso hídrico, ya sea en vigilancia, en el uso o en la regulación. Ya hay instituciones que están trabajando al respecto, lo único que nos falta es la autoridad del agua y esta autoridad es la que está contemplada en esta ley general; por eso es que le doy tanta fuerza y he hablado tanto de la falta de la Ley General de Agua. Una de las situaciones que debemos revisar es si las acciones que estamos desarrollando, van a la par del crecimiento poblacional. El crecimiento poblacional nos absorbe y el caso patético es el de Tegucigalpa donde en el pasado hemos analizado 10 años atrás para satisfacer las necesidades del crecimiento poblacional, a este momento estamos haciendo varios proyectos que sostienen el problema, que no lo hacen crecer más, pero no lo resolvemos. Esto quiere decir que como política del agua, como legislación del agua, estamos débiles, aunque tenemos una fortaleza de gente pensando, gente actuando a nivel nacional pero trabajando independientemente cada uno en lo que mejor cree que debe hacer; al final posiblemente estamos perdiendo energía duplicando actividades, o en el mejor de los casos nuestras actividades son menos impactantes al trabajar solos que al trabajar en grupo. Mencionaba que las redes eran un punto muy importante en Honduras, pero son instituciones pensantes a mi criterio, no son actuantes. El trabajo de campo requiere de mayor número de personas resolviendo los problemas en cada una de las comunidades, y esa coordinación es necesaria para que tanto lo que tenemos en ley, que es bastante, y la capacidad instalada que es bastante, puedan conjuntarse y trabajar en una misma dirección, todos en función de un mismo plan general y no con los cientos de planes que tienen las cientos de ONGs trabajando en el país y decenas de instituciones de Gobierno quitándose unos y otros, financiamiento para proyectos. La otra visión que se tiene como problema del agua en los próximos 20 años es el cambio climático. Nosotros

desarrollamos un seguimiento para observar lo que está sucediendo en estos momentos, y aunque creemos que estamos en un periodo largo de suficientes lluvias, los fenómenos de El Niño se presentan sin aviso; son erráticos, se puede ver la ciclicidad que se ha investigado del pasado y puede ser en periodos de tres años, cuatro, cinco y hasta 7 años, en que se vuelve a presentar. Esto no permite prepararse adecuadamente en una forma de actuación sistemática sino esperando que este año puede ser el quinto o el séptimo, y es hasta el momento en que se comienza a manifestar, que se hacen las actividades.

El plan económico es otro de los puntos que es importante mejorar debido a que todavía nuestros gobiernos trabajan con programas operativos anuales. Esto no permite ver el mediano ni el largo plazo en aspectos financieros; aunque las instituciones técnicas tengan una planificación de largo plazo, al final terminan adaptándose a una planificación económica del año. Esto ¿empeora o mejora? Yo me pondría en un punto neutro. Por suerte tenemos una suficiente capacidad instalada a nivel nacional, normativa que ya está casi en su proceso final de culminación y se debe luchar por esa coordinación necesaria. Lográndose esa coordinación, será un panorama alentador para el manejo de los recursos hídricos en el futuro del país. En resumen, es necesario que nuestro país cuente con tres instrumentos: La Ley General del Agua, Ordenamiento y coordinación institucional y Plan nacional de recursos hídricos con enfoque de Gestión Integral.





**DIVERSIDAD  
TEMÁTICA**



## Del sexo a la rosa: Erotismo en la poesía de Clementina Suárez

Claudia S. Torres\*

*Ya pesar del miedo estoy tranquila. Llena de  
de sonidos y llantos, de dolores en las piernas  
recorrido los mil mercados de Tebas, de recuerdos  
que me hicieron reír con sus historias de monstruos y*

*“Los ángeles que pasean por mi sangre son ángeles rebeldes  
(Clementina Suárez)*

Jamás pensé que un día analizaría la poesía de Clementina Suárez, ni que me sentiría identificada con sus espacios de belleza y libertad. Me duele imaginar su muerte; sin embargo, estoy segura de que esté donde esté estará con sus boas estelares regando caricias y cambiando a quienes la rodean. Clementina era gestora de almas, con lo bueno y con lo malo que eso implica.

En su obra poética, Clementina Suárez nos presenta un erotismo liberador que se construye a través de una exploración de las maneras con las cuales uno ama al “otro/a”, al extraño, a lo desconocido, y a lo-que-no-soy-para-nada; a su vez, esta no-apropiación está ligada a una relación transgresora de la Ley Moral. (Cixous citada por Shiach 1991). Existen otras formas de experimentar el mundo, de generar conocimientos que no se acomodan a una racionalidad académica, sino que buscan “la verdad en la medula de (los) huesos” (Suárez citada por Ramos 1982). Son las personas que no tienen miedo de enfrentarse a la existencia propia de las cosas, de confrontar su propia materialidad, de reflexionar sobre su mundo interior, de abrazar su sombra, de morder la manzana. (ibid). Esta manera de generar conocimiento no acepta el poder abstracto y simbólico de la Ley, se opone a las prohibiciones. Se evidencia a un rechazo a internalizar las estructuras represivas de un sistema y se caracteriza por una apertura a todo, a una genuina autenticidad, a las múltiples posibilidades del inexperto (Suzuki), al deseo de habitar nuestros cuerpos sin limitarnos únicamente a lo oculocéntrico, característico de la Cultura Occidental (Shohat 1994).

Para recrear esa prolongada búsqueda que parte de lo sensual hacia mayores

---

\*Claudia S. Torres  
Escuela de Letras, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

niveles de dignidad y espiritualidad, escogí la imagen del sexo a la rosa. El sexo carnal puede convertirse en una intimidad profunda que permita conocer los miedos para desatarlos y transformarlos en rosa con aroma, espinas y belleza (poesía). Carlos Izaguirre nos dice que Clementina “se debate en el esfuerzo supremo de remontarse a las altas regiones de la serenidad y del silencio” (1982). Hostilio Lobo dice “padece la obsesión de la sangre trasmutada en alma” (1982). Claudia Lars expresa que la poesía de Clementina “es el grito de la sangre libre y del espíritu sin cadenas, de la personalidad que se afirma en algo más alto” (1982). Francisco Salvador, elocuentemente plantea “la grandeza de su alma se desborda en expansión, contra todo lo que es estrecho y no reconoce ni límite ni espacio ni de prejuicio” (1982). Clementina misma presenta su preocupación por “romper esta cáscara y alcanzar la espiritualidad” (1982) A través de las experiencias erótico- amorosas establece una cosmovisión en la cual el “vibrante goce sensual, en impulso o realización, está siempre presente” (Umaña 1986:217). La vida y obra de Clementina Suárez, según Rigoberto Paredes “se erigen, por tanto, en hitos precursores de una forma de hacer, de una manera de ser iconoclastas, eclosivas, sin duda necesarias para potenciar todo proceso de transformación material y espiritual” (Paredes citado por Ramos 2002). Medardo Mejía señala que Clementina “ha ido contra sí misma en el vértigo de la purificación” (1982).

*Obediente la rosa a su destino  
Tuvo que ir mostrando  
El candor de su rostro.*

*Te quemará el amor tus huesos.  
¡Niña del aire!  
¡Paloma del amanecer!  
Ya que sólo en la sangre despierta  
Estará el germen creador defendido.*

*No caerá por eso  
La estrella de tu mano.  
Ligaduras humanas no detienen  
Tu rostro, ya salvado en mil edades.*

*Ningún camino aparta al cielo de su cielo.  
Todo te alza a la altura de tu llaga.  
Conmigo. Contigo. Sola.  
Atada va la sangre  
Araíces que no entiende*

*(Creciendo con la hierba)*

Erotismo, según el Diccionario Larousse, significa carácter de erótico (455) y erótico es relativo al amor, especialmente al sexual. El erotismo es el resultado de una construcción social, cultural e individual que se dimensiona gradualmente según las experiencias, los valores y la estética. Aprendemos a habitar nuestro espacio sensual y sexual. Esta construcción parte de los sentidos y es influenciada por los valores culturales y las vivencias. Se va generando a partir de las experiencias sensuales, sexuales y cognitivas. Nuestras preferencias en el juego del amor varían infinitamente. El tipo de atracción que seduce a un camionero no es igual a la seducción de un intelectual, aunque existen excepciones a la regla.

Oller y D' Amico hablan de la importancia de las competencias semióticas y las relaciona con diferentes sistemas de comunicación: simbólico, cinestésico y lingüístico. Estos tres se apoyan el uno al otro y se retroalimentan. Bourdieu habla de un capital semiótico sostenido por estructuras que condicionan un habitar y un desplazar del cuerpo (*habitus* y *hexis*) (1994). Estos constructos se arman poco a poco con las experiencias de la vida, espacio interior y espacio exterior. "Para conocerse a sí mismos, se necesita salir de lo interior, y relacionarse con lo exterior y, así, enfrentarse con el otro y la negatividad. Pero, esto todo sirve para volver a sí mismos, y reconocerse mejor". (Bonagura 1991: 16)

*Ya ves como  
Mi pecho ilumina  
Una verdad tremenda.  
Los ángeles que pasan por mi sangre  
Son ángeles rebeldes.*

*Y me humilla tu rostro atado  
Y tu corazón cerrado  
Por un mandato de siervos.*

*Cuando yo oí me dijeron:  
Pequeña: No le niegues al amor tu cara.  
Sólo así tu flor tendrá polen  
Y flotara libre,  
goteando muchedumbres,  
tu cara creciendo con la hierba.*

*Distintos son los rumbos de la carne  
Y sólo el viento salvará  
A tu pie, que en la ceniza  
Quedo extraviado...  
(Creciendo con la hierba)*

Sartre indica que la primera gran revolución es la mental. Señala que existe un proceso dual necesario para la acción, la externalización del mundo interior y la internalización del mundo exterior. Ambos procesos son necesarios para la acción ya que ésta es una confrontación entre el sujeto y el mundo. En un sentido amplio, la conciencia revolucionaria es una conversión de la conciencia producida por una variación imaginaria; es el poder de crear nuevos significados en el presente, creando un futuro revolucionario que lo niega (Sartre citado por Bourdieu 1992).

Este poder de crear nuevos significados en el presente implica invertir el mundo oficial (statu quo) para imaginarlo de otra manera, como lo deseamos o desearíamos. Esa visión a futuro es el poder que cambia las leyes actuales (vacías) por unas de nuevo contenido. Clementina pide al “pobre hombre” que juzga que la comprenda, que ella no tiene miedo de lo que cuerpo y alma le piden.

*Por eso soy inquieta como pira;  
por eso soy vibrante como una lira.*

*Comprende, comprende,  
Pobre hombre que juzgas  
Conforme a tus leyes humanas.*

*(Compréndeme)*

Clementina percibe ese sentir de su cuerpo como algo más real que las leyes humanas. Para ella son leyes vacías que detienen ese fluir del vivir, esa inquietud que quema, ese sentir que vibra con la belleza de la lira. Se da cuenta que él está, como muchos, atrapados en las leyes humanas que reprimen la humanidad de los seres. Ella deja que el amor, el placer enciendan todo su cuerpo y su alma.

*Y el beso luminoso,  
o el beso tembloroso,  
o el beso impreciso,  
o el beso angustiado  
enciende mi carne,*

*enciende mis nervios,  
enciende mis huesos,  
enciende mi alma.*

*(Compréndeme)*

Los estudios de Foucault tratan de desmitificar el significado cultural del sexo (o su reificación) y explican que existe una inmensa verbosidad organizada alrededor del sexo, la cual resulta necesaria para nuestra civilización y sus esquemas represivos. Se trata de un discurso sobre el placer y el autor sentencia que en un futuro la gente no podrá entender como el uso de la sexualidad y del poder que sostiene la organización de la misma fueron capaces de mantener la sujeción a una austera monarquía del sexo (citado por Stanton 1990:1). Para Sedgwick, el sexo es la actividad humana más significativa (1992:2) y para Gould no se puede reducir la importancia del sexo a “una señal, un símbolo o reflexión de absolutamente todo en nuestra cultura” (ibid.). Marcuse acusa que la represión sexual es un acto de cruel dominación. Accad previene que a menos que se incorpore una revolución sexual en la revolución política, no habrá una transformación real en las relaciones sociales (ibid).

*¡ Criatura de mi amor!  
Sólo cuando el fuego  
te lleve hasta mi grito  
recuperarás intacta  
la espiga que dentro  
de tu piel madura.*

*Fuera necesario morirme y no quererte.  
Golpearme la espalda  
Yatar mi lengua  
para no decirte  
que están llorando en tí los brotes  
y detenidos los arroyos,  
porque le niegas al surco  
lo que es del surco.*

*(Creciendo con la hierba)*

El debate sobre esta revolución sexual tiene décadas de irrumpir en muchas reuniones, sesiones y conversatorios; no hay una única respuesta. La reflexión

sobre estos temas parte de los valores sociales perpetuados a través de las mitologías de opresión que sobreviven y que sustentan la represión internalizada que asegura el statu quo. La subalteridad silencia el derecho a su propia sensualidad, a su deseo, a su imaginario; y por ello surgen esas resistencias subterráneas que si se urgan mucho salen como chorros de agua (Semeretakis 1996). El mundo se interpreta de manera falocéntrica y hasta en la arquitectura nos muestran orgullosas torres gigantescas. La mujer que reclama derechos es una igualada y se reprime con gran fuerza social.

*Es crimen hablar de estrellas  
cuando hay que limar cadenas.*

Medardo Mejía dice que después de publicar esos versos, “bramó el feudalismo, casi estuvo a punto de enterrarla viva,” pero ella contestó:

*No, no, no  
Este no es mi mar,  
Ni estos son mis ojos.  
En estas aguas los niños están muertos  
Y los vientres de madre comidos de gusano.*

Para Cixous, la exploración de la subjetividad y de la sexualidad permite el desarrollo de alternativas textuales, políticas y económicas que se describen femeninas. La importancia de la búsqueda de la propia voz, la importancia de la levedad, del vuelo y de la necesidad de combinar técnicas deconstructivas y reconstructivas en la escritura. (Schiach 1991).

La escritura de Clementina es una búsqueda de significados, deconstruye y reconstruye a su manera. Descubre que su vida era “resplandor de lo bello y que podía hacer de ella una obra de arte” (Mejía 1982:7), agregaría yo, y de rebeldía. Se reescribió cantando libremente en un contexto de cadenas:

*Hoy,  
Ya tan cerca del alba,  
traigo despiertos ríos  
de mujeres que gritan como yo,  
con el aire oxidado  
por la salvada orilla,  
para la azucena,  
el yermo y el amor.*

*(Creciendo con la hierba)*

Clementina entendió que esa transformación integral de los seres humanos era necesaria para la transformación social. A pesar de todas las contradicciones (el ser humano no es monolítico), opinaba que “El entendimiento entre hombre y mujer avanzará poco, mientras no se llegue a un plano de compañerismo (que vivió con su padre, en sus múltiples amores sin encontrarlo). Se casó dos veces y amo y fue amada.

*Sólo así,  
A orillas de la vida  
que busca jubilosa  
algo duradero.*

*Empezaremos  
a ser felices,  
a quererlo ser.*

*Asumiendo el deber  
De que sólo  
Por un camino humano  
Se puede ser feliz.*

*Sin lo estéril  
de la desigual,  
solitaria felicidad.*

*(Creciendo con la hierba)*

Un día cuando le conté que me iba a divorciar me dijo, “las mujeres inteligentes como vos, se quedan solas. No les aguantan a los hombres pencos”. Luego, agregó con satisfacción, “la vida es un entrenamiento en soledad”. Pienso que se refería a una soledad especial esa que no comparte los niveles más íntimos. Clementina se sentía a gusto con su propia compañía y con su espacio, cuidadosamente recreado en su casa llena de sus retratos, de sus libros, de sus plantas y de su colección de objetos artesanales traídos de todas partes del mundo. Varias salas y una cocina chiquita. Su casa era el centro de reunión de muchos escritores y artistas.

*Ahora,  
a cualquier lugar que llegue*

*ya nunca puedo estar sola,  
porque no comienzo en la sangre de mis descendientes  
sino que termino en ella.*

*(Con mis versos saludo a las generaciones futuras)*

Su revolución sexual fue una búsqueda de sí misma y de sus anhelos. Era una mujer que buscaba que la trataran de igual a igual y el costo fue enorme. Mejía dice,

de casa rica vino Clementina Suárez. De casa feudal con amplias salas y amplios corredores, asentada en fértil valle. De casa de latifundistas y ganaderos, que en América Hispana han dirigido la Sociedad y han sido dueños de la cultura. A Clementina Suárez no le gustó el señorío, el hábito severo, el gesto desdeñoso, el tratamiento de “ama”. Escapó del fértil valle natal. Quería cantar libremente y lo consiguió (1982:9)

Según Francisco Salvador, Clementina “se libera de medidas y condiciones para alimentar la libertad íntima, el amor permanente, el gozo del gozo, la razón social” (1982:87). “No sabe de cenáculos, de reglas, ni de academias. Todo en ella es elástico, impulso, ímpetu de libertad” (89). Orantes señala que “Clementina Suárez que es el sexo hecho verbo, habla por el espíritu y para el espíritu” (1982:15). Ella misma en una entrevista de José Muños Cota en la que le pregunta sobre el amor libre dice,

No hay tal, Soy partidaria del amor. En el matrimonio o fuera del matrimonio. Eso es cuestión de circunstancia eventuales. Lo que sí es cierto es que no creo en familiares, ni en deberes, ni en obstáculos. Me doy el lujo de escogerlos en el amplio escenario de la vida. Opinar ¿para qué? (1982:69).

Clementina no acepta el poder abstracto y simbólico de la ley, se opone a las prohibiciones. Se evidencia en su rechazo a la internalización de las estructuras represivas del sistema y a propugnar la fuerza vibrante de la vida natural del planeta que nos vuelve libres:

*Su pecho estuvo cierto  
En la evidencia  
de que no hay otra vida sino aquella  
que por el camino de la sangre  
hacemos nuestra.*

...

*Porque sólo el hombre oprimido,  
ahogado de noche o de terror  
alcanzará la apropiada medida  
para revivir en forma exacta  
la desfallecida corteza  
del planeta.*

...  
*Sus manos frescas trabajan  
con redoblado afán,  
sin reposo,  
para que renazca encendida  
-levantada en raíces-  
la verdad de ser libres.*

*(Elegía de la sangre heroica)*

Y se caracteriza por una apertura a todo, a una genuina autenticidad, a las múltiples posibilidades del inexperto, al deseo de habitar nuestros cuerpos sin limitarnos únicamente a lo oculocéntrico:

*El Arcano ha querido  
que florifique al Mundo,  
riente como rosa  
en la cruz del beso.  
Lo frívolo mío  
es el ardor mirífico  
de los cuatro Puntos,  
es el gemido lírico  
del fuego, del agua,  
del viento y la tierra,  
boas estelares  
que me vuelven mítica.*

Su cuerpo es el universo, es su templo, es su casa y lo habita como Scherezada que lo sabe todo, posee una cosmovisión en la cual el “vibrante goce sensual, en impulso o realización, está siempre presente” (Umaña 1986 217):

*Animal sidéreo  
bello amado mío,*

*hunde tus esplines  
entre mis jazmines,*

...

*Yo soy Scherezada  
Que lo sabe todo,  
Tú el rey tremendo  
Que no sabe nada.  
Mi espíritu es llave  
que abre todas las puertas,  
que abre todas las cajas  
milagrosas que guardan  
el perfume de las estrellas  
y las gemas de los soles,  
todas las cosas bellas.*

...

*Mi sabiduría  
Es la fragancia  
de la rosa de mi ignorancia.  
Mi ciencia  
Es la ciencia del lirio:  
vivir,  
perfumar,  
lucir,  
amar  
las piedras, las aves,  
el cielo azul,  
nido magnífico  
de las pálidas constelaciones miríficas.  
(Explicaciones)*

En su obra poética, Clementina Suárez nos presenta un erotismo liberador, del sexo a la rosa, que se construye a través de una exploración de las maneras con las cuales uno ama al "otro/a", al extraño, a lo desconocido, y a lo-que-no-soy-para-nada. Y, a su vez, esta no- apropiación está ligada a una relación transgresora de la Ley de los hombres. (repetido en el segundo párrafo) Existen otras formas de experimentar el mundo, de generar conocimientos que no se acomodan a una racionalidad académica sino que buscan "la verdad en la medula de (los) huesos" y Clementina la buscó en sus huesos y en su sensualidad, sexualidad y espiritualidad panteísta.

*Sexo,  
encarnada rosa,  
flor de lujuria  
por donde salta mi juventud.  
Anfora llena  
de sensaciones  
y vibraciones.*

*Arpa que vibra,  
que llora y gime  
voluptuosidades.*

*...  
Pero yo te bendigo  
gruta maravillosa  
porque la vida me diste*

*y porque en esa flor estropeada  
una nueva vida  
yo también di. . .*

*(Sexo)*

## Proyecto de generación de energía en base a biomasa aplicado a la UNAH

Roberto Ortiz\*,  
Osman Mejía\*,  
Jairo Sabillón\*,  
Dennis A. Rivera\*

### RESUMEN

En la actualidad, el Sector Eléctrico Hondureño atraviesa una severa crisis en el ámbito energético debido al elevado costo del petróleo, la falta de generación de energía eléctrica en base a recursos renovables y al considerable derroche de energía eléctrica, por lo que es un deber de la máxima casa de estudio de Honduras, plantear alternativas que contribuyan a disminuir el consumo de energía eléctrica, por ejemplo, en la misma ciudad universitaria. En la presente investigación se analiza la factibilidad técnica y económica de implementar en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) un proyecto de generación de 250 kW de capacidad y su energía asociada en base a cartón como combustible biomasa. El proyecto resulta factible de implementarlo bajo las condiciones de financiamiento del BCIE, el actual consumo de energía de la UNAH y bajo la tarifa actual que la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) cobra a la UNAH. No obstante, el margen de factibilidad es pequeño por lo que el estudio económico amerita de un análisis de sensibilidad y riesgos que permita soportar la decisión final para su implementación.

**Palabras clave:** *Energía, Generación de Energía, Biomasa*

### ABSTRAC

Nowdays, the Honduran Electrical Sector is going through a severe crisis in its

---

\* Roberto Ortiz

\* Osmán Mejía

\* Jairo Sabillón

Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

\* Dr.- Ing. Dennis A. Rivera, Catedrático

Escuela de Ingeniería Eléctrica

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

energy sphere due to the elevated costs of oil, the lack of electrical energy production based on renewable resources and the considerable waste of electrical energy, which is why is a duty of the leading academic institution of Honduras to propose alternatives that contribute to reduce energy consumption, for instance, at the university campus. In this research the technical and economical feasibility is analyzed in order to implement within the National Autonomous University of Honduras (UNAH) a production capacity project of 250KW and its associated energy based on cardboard as a bio-mass fuel. The project turns out to be feasible to implement through the BCIE´s financing, the current energy usage of the UNAH and through the actual rate that the National Company of Electric Energy (ENEE) charges to the UNAH. Nevertheless, the margin of feasibility is quite small hence the economical study merits an analysis of sensibility and risks that supports the final decision for its implementation.

**Keyword: *energy, electrical energy production, bio-mass***

## INTRODUCCIÓN

El proyecto que a continuación se presenta trata sobre la instalación y puesta en marcha de la generación de 250 kW de capacidad y su energía asociada, para implementarlo en la ciudad universitaria, para ello se requiere de una cantidad considerable de agua ( $12 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) para lo que se necesita la construcción de 4 pozos con una capacidad promedio de 15 gal/min.- Asimismo, se requiere de una buena cantidad de materia prima con un poder calorífico elevado; en este caso se escogió utilizar el cartón ya que se encuentra en gran cantidad en el basurero municipal y con bajos costos de adquisición. El cartón tiene un poder calorífico de 4 Mcal/Kg [1,2], por lo que se necesitaría aproximadamente 60 Kg/hr para generar la potencia requerida.

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que puede ser convertida en energía. Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético: biomasa natural, residual seca y residual húmeda y los cultivos energéticos. La Biomasa puede ser utilizada con las ventajas y desventajas en las siguientes aplicaciones [2-4]:

1. Producción de Energía Térmica.
2. Producción de Energía Eléctrica.
3. Producción de Biocombustibles:
  - a. Etanol.
  - b. Biocombustibles.
4. Producción de gases combustibles.

### Ventajas

1. Disminución de las emisiones de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )
2. No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, y apenas partículas sólidas.
3. Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

### Desventajas

1. Tiene un mayor coste de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
2. Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.
3. La materia prima es de baja densidad energética lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y por lo tanto puede tener problemas de transporte y almacenamiento.

## FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL PROYECTO

### 1. Funcionamiento de la Caldera [5-8]

La caldera seleccionada para el Proyecto tiene la ventaja de que no requiere toda la cantidad de agua mencionada anteriormente para permanecer en funcionamiento continuo, debido a que sólo necesita del 10% del agua que se consume en vapor ( $12 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) Para mantenerla en operación continua, es decir, aproximadamente  $1.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

Esta ventaja de la Caldera es otro de los factores que permite la factibilidad técnica del proyecto, ya que disminuye la cantidad de agua a utilizar y todo esto se debe a la eficiencia de la misma.

En la Fig. 1 se presenta un Diagrama del proceso de generación de energía eléctrica del Proyecto de Biomasa aplicado a la ciudad universitaria.

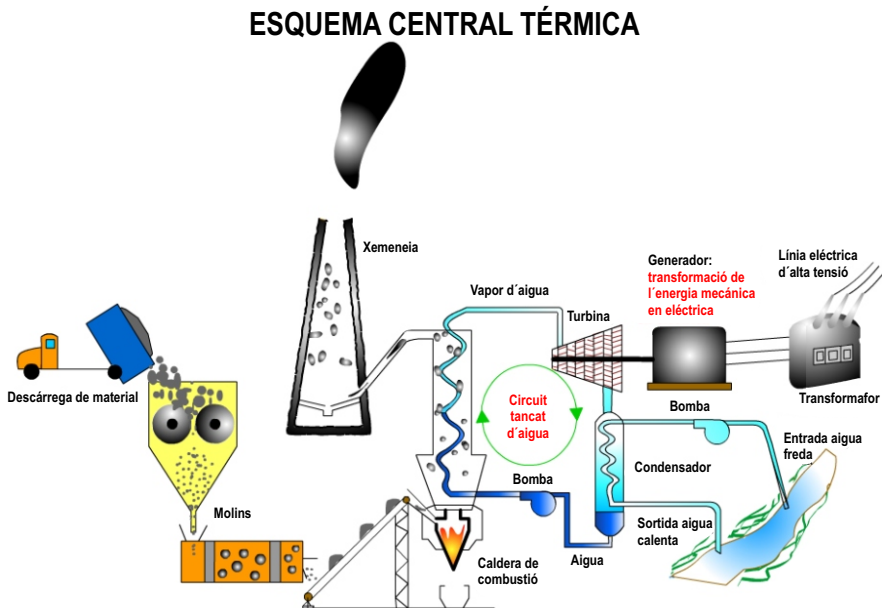


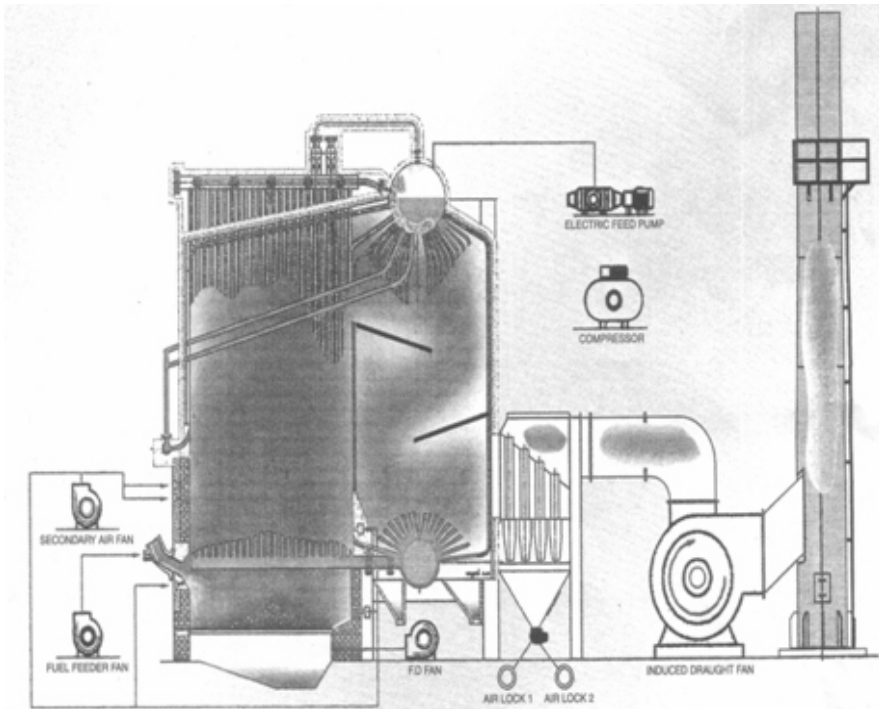
Fig. 1: Diagrama Esquemático de una Central Térmica mediante Biomasa [9]

### 2. Caldera

El tipo de Caldera más recomendable para realizar el proyecto es la de Tipo Acuotubular [6], tal como se muestra en la Fig. 2 y con las siguientes características:

- Caldera FRASER II
- Presión de 21 Bar

Consumo de Vapor:  $12,000 \text{ Kg/hr}$



**Fig. 2** Caldera seleccionada para el Proyecto [8]

Este tipo de caldera ya se está utilizando en una empresa del departamento de Yoro; asimismo, su eficiencia es adecuada para generar la capacidad requerida de 250 kW.

### 3. Requerimientos necesarios para realizar el Proyecto

El objetivo del proyecto consiste en generar energía eléctrica permitiendo a la UNAH ahorrar la factura que le cobra la ENEE, de manera que este ahorro resulte mayor que los costos de inversión y de operación y mantenimiento; para el estudio de factibilidad técnico económico se han realizado las siguientes consideraciones:

#### a. Capacidad a Generar: 250 kW

Para generar esta capacidad se usará un generador de 400 Kw debido a que en el futuro se podría aumentar la capacidad y permitir un mejor ahorro de energía a la UNAH mediante la venta de energía a la ENEE. Asimismo, la elección de este generador se hace considerando que la ciudad universitaria puede aumentar el consumo de energía eléctrica.

#### b. Recursos necesarios para realizar el proyecto

En la realización de este proyecto se requiere de dos grandes recursos que

permitan llevarlo a cabo:

1) Basura (cartón)

La cantidad de basura disponible es de 4 toneladas diarias en el basurero municipal; la Fig. 3 muestra la disponibilidad de este recurso en el basurero. Para fines de utilizarlo en la UNAH se requiere que el mismo sea transportado en volquetas



Fig. 3. Cartón a ser utilizado en el proyecto

2) Agua para generar el vapor

En la UNAH hay 4 Pozos con una capacidad de 15 gal/min (véase Fig. 4), no obstante estos pozos están siendo usados para el consumo propio de la UNAH. Para fines de este proyecto, se requiere de la construcción de 4 pozos con un caudal idéntico para generar los 250 kW.



Fig.4 Pozo ubicado atrás del L-2

a) Caudal de Agua en los 4 Pozos

- ❖ Cada Pozo tiene una capacidad de 5 gal/min y utilizando el factor de conversión se obtiene la cantidad de agua que se dispone en cada uno de los pozos.

$$15 \text{ gal/min} \times (0.003785 \text{ m}^3 / 1\text{gal}) = \mathbf{0.05678 \text{ m}^3 / \text{min}}$$

- ❖ Una vez calculada la cantidad de agua en cada pozo se obtiene el total de agua disponible en los 4 pozos que es de  $(4 \times 0.05678 \text{ m}^3 / \text{min})$  que equivale a  $4 \times \mathbf{3.4068 \text{ m}^3 / \text{hr}} = \mathbf{13.6272 \text{ m}^3 / \text{hr}}$

b) Agua requerida para la Caldera

Otro factor importante en la realización del Proyecto es el cálculo del agua que necesita la caldera para generar la capacidad requerida, y para ello se utiliza el consumo de vapor de la caldera y la densidad del agua.

Con un consumo de Vapor = 12,000 Kg/hr y con la densidad del agua = 1,000Kg/m<sup>3</sup>, se obtiene la cantidad de agua necesaria para la caldera (Ver Tabla I):

$$\rho = m/v \text{ (densidad)}$$

$$V = (12000 \text{ Kg/hr}) / (1000 \text{ Kg/m}^3) = \mathbf{12 \text{ m}^3 / \text{hr}}$$

Por lo tanto, para disponer de esta cantidad de Agua es necesario construir 4 pozos de la misma capacidad de los que ya existen en la UNAH. Es muy importante tomar en cuenta que para la construcción de los Pozos primero se debe analizar el nivel de freático del suelo de la UNAH y de esa forma conocer si se dispone de la cantidad de agua necesaria para la caldera, lo cual garantizaría la factibilidad técnica del proyecto.

**Tabla I: Tabla comparativa del agua a utilizar en el proyecto**

<b>Caudal de Agua en los 4 Pozos</b>	<b>Agua Requerida para la Caldera</b>
<b>13.6272 m<sup>3</sup> / hr</b>	<b>12 m<sup>3</sup> / hr</b>

- 3) Flujo de Cartón en Basurero Municipal  
Una de las ventajas que proporciona el cartón es que se dispone de 4 toneladas diarias en el basurero municipal que equivalen a 166.67 Kg/hr. Asimismo se encontró que la UNAH dispone de aproximadamente el 5% de la cantidad de basura que se requiere diariamente, y esto equivale a 100kg/día.
- 4) Flujo de Cartón Requerido Para la Caldera  
El cálculo del flujo de cartón requerido se obtiene con el poder calorífico del mismo, el cual equivale a 4 Mcal/Kg como sigue:  
 $(4 \text{ Mcal/Kg}) \times (1 \text{ Kwh}/860 \text{ Kcal}) = 4.6512 \text{ Kwh/Kg}$   
Con la capacidad que se requiere generar (250 Kw) y considerando una hora como referencia, se calcula la cantidad de cartón por hora que necesita la caldera para generar 250 kWh (ver Tabla II).  
 $250 \text{ Kwh} / (4.6512 \text{ Kwh/Kg}) = 53.75 \text{ Kg} \approx \underline{60 \text{ Kg / hr}}$

**Tabla II:** Tabla comparativa del cartón para generar la potencia requerida

Flujo de Cartón en el Basurero Municipal	Flujo de Cartón Requerido para la Caldera
166.67 Kg / hr	60 Kg / hr

## DEMANDA DE CAPACIDAD Y ENERGÍA DE LA UNAH

La UNAH mantiene un alto consumo de energía eléctrica llegando a valores máximos de aproximadamente 1,200 kW en horas del mediodía y del orden de 250 kW en horas de la madrugada (Ver **Fig. 5** donde se muestra el consumo durante la semana del 19 al 25 de Febrero de 2006). Es imperativo buscar alternativas de eficiencia energética que disminuyan el consumo. La **Tabla III** muestra el detalle de la factura energética de la UNAH durante el año 2006. En la Tabla se puede observar que la UNAH ha cancelado un total de **10.6** millones de Lempiras por un total de **4,062,800 kwh** consumidos en el 2006.

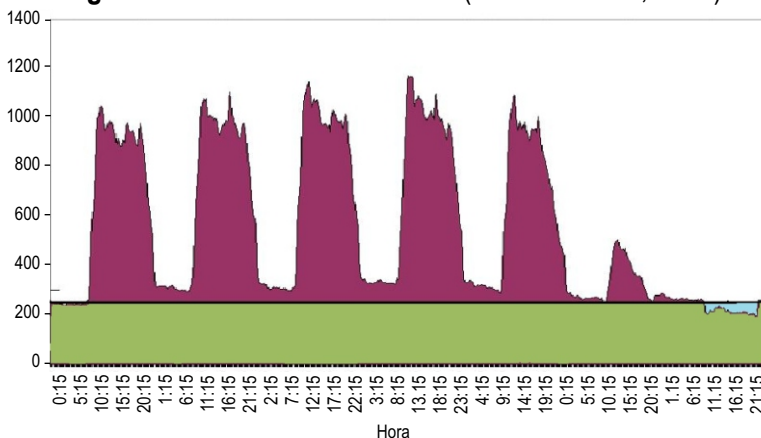
El consumo energético varía durante el año; esto es de esperarse ya que en el transcurso de los periodos vacacionales (enero y junio) la demanda disminuye y aumenta en los meses calurosos o de mucha actividad académica. Mediante un trabajo de inspección y encuestas realizado por los alumnos de la asignatura de seminario del primer semestre de 2007, se estimó en kwh y en % el consumo de

energía eléctrica en cada uno los edificios que conforman la UNAH y el consumo de carga por tipo. Las **Fig. 6 y 7** muestran la distribución de carga por edificio y según el tipo de carga respectivamente. En la **Fig. 6** se puede observar que los edificios que más consumen energía eléctrica son: a.-) El Centro Comercial (17%), b.-) El edificio 4A (13%), c.-) El edificio 3 (12%), d.-) Los negocios fuera de los edificios (12%) y e.-) El edificio 4B (10%), respectivamente. En la **Fig. 7** se muestra que el mayor consumo de energía eléctrica de la UNAH radica en a.-) Iluminación (34%), b.-) Equipo de cocina, refrigeración, microondas, etc. (25%) c.-) Aire Acondicionado (16%) d.-) Equipo de Computo (12%)

**Tabla III:** Detalle de la facturación mensual de la UNAH (Facilitado por la ENEE

Mes	Consumo Resumen Kwh.	Alumbrado Público Lps.	Ventas de Kwh. Lps.	Ajuste Comb Lps.	TOTAL Lps.
Ene-06	170,100.00	2,213.32	288,184.42	152,737.21	446,372.98
Feb-06	343,000.00	2,517.35	581,111.60	310,894.17	894,523.12
Mar-06	395,500.00	2,525.72	670,057.10	373,221.24	1,045,804.06
Abr-06	354,500.00	2,395.73	601,272.58	359,560.40	963,228.71
May-06	418,600.00	2,296.04	709,193.12	375,871.82	1,087,360.98
Jun-06	291,200.00	2,121.25	493,352.04	261,476.05	757,939.34
Jul-06	347,200.00	2,717.42	588,227.24	311,759.90	902,158.56
Ago-06	330,400.00	2,140.62	559,764.68	296,674.75	858,580.05
Sep-06	329,700.00	2,045.74	558,578.74	296,046.20	856,670.68
Oct-06	379,400.00	2,079.38	642,780.48	340,673.12	985,532.98
Nov-06	406,000.00	2,884.74	687,846.27	364,557.95	1,055,288.96
Dic-06	296,800.00	2,220.76	502,839.56	266,504.43	771,564.75
<b>TOTAL</b>	<b>4,062,800.00</b>	<b>27,612.07</b>	<b>6,883,207.83</b>	<b>3,709,977.24</b>	<b>10,625,025.17</b>

**Fig. 5.-** Consumo de una semana (feb 19 - feb 25, 2006)



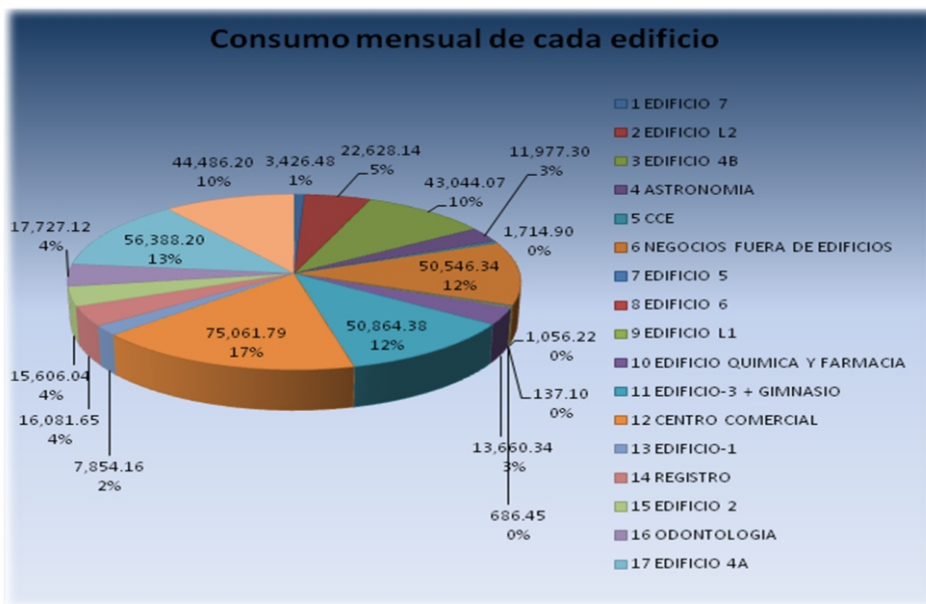


Fig. 6: Distribución de la carga por edificio

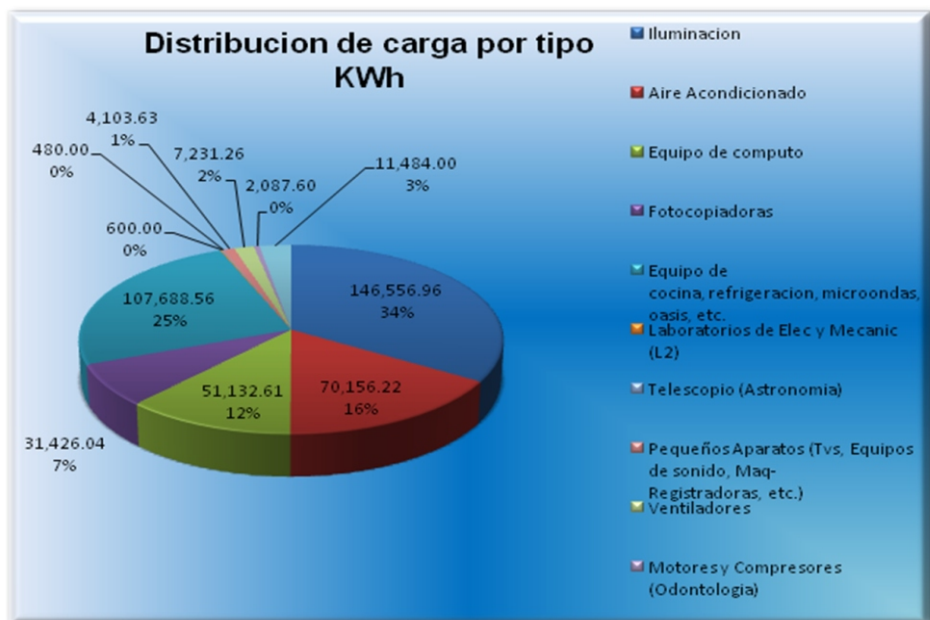


Fig. 7: Distribución de carga según el tipo.

### **Análisis de la Demanda Universitaria con el Proyecto Instalado.**

En la **Fig.5** se puede observar que para una generación de 250 kW continua en las 24 hr del día. Prácticamente toda la energía eléctrica generada se estaría consumiendo en la misma UNAH, sin perjuicio de lo anterior, la UNAH puede firmar un contrato de generación de energía con la ENEE para la venta de energía excedente en caso de que la misma sea exportada hacia la ENEE, De esta manera, la gráfica de consumo energético se verá altamente modificada como se muestra en la **Fig.5** en la que se observa la energía semanal que la UNAH dejara de consumir con un color verde; y con un color azul la cantidad de energía sobrante que se le vendería a la ENEE (los domingos). Bajo este esquema de generación y considerando la tarifa vigente en 2007 que la ENEE cobra a la UNAH, se puede inferir el ahorro anual en la factura de energía por implementar este proyecto de generación (ver **Tabla IV**).

**Tabla IV.** Ahorro por la generación de los 250 kW.

<b>Ahorro por generar Energía, 250 kw, UNAH</b>					
<b>P</b>	<b>Hrs. Semanales</b>	<b>Semanas</b>	<b>Energía Anual</b>	<b>Tarifa UNAH y compra ENEE</b>	
<b>kw</b>	<b>h</b>	<b>Año</b>	<b>kwh</b>	<b>Lps/kwh</b>	<b>Lps.</b>
250	155.5	50	1,943,750.00	2.97	5,772,937,50 UNAH
205	12.5	50	128,125.00	2.97	380,531.25 UNAH
45	13	50	28,125.00	1.67	47,103.21 ENEE
<b>TOTAL</b>					<b>6,200,571.96</b>

El ahorro total se estima en **Lps. 6,200,571.96** anuales. Nótese que sólo se consideran 50 semanas anuales, cuando en promedio el año tiene 52 o 53 semanas; esto es debido a que la planta deberá detenerse 15 días para realizar mantenimiento preventivo. Este valor está sujeto a cambios, ya que la tarifa de la ENEE por kwhr, tiene una tendencia a crecer (el ajuste por combustible y la necesidad de incrementarla para solventar la crisis de la ENEE), no obstante, en caso de que la tarifa se incremente lo hará también el ahorro anual con lo cual se incrementará la factibilidad del proyecto.

### **FACTIBILIDAD ECONÓMICA FINANCIERA**

Para determinar la Factibilidad Económica Financiera del proyecto, es necesario

obtener el monto total de la inversión mediante un presupuesto detallado del equipo y del listado de materiales; asimismo, se deben considerar los costos de operación y mantenimiento (CO&M) afectados por un 4.8% de inflación anual e incluyen los salarios de los empleados y el costo anual del cartón; finalmente se deben incluir los costos de transporte del cartón. Para efectos de los costos de inversión, se calculará la anualidad del monto total de inversión considerando las condiciones de financiamiento que el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) otorga para este tipo de proyectos. El préstamo es por 10 años donde los primeros dos años son de gracia; la tasa de interés es de 10% anual; el banco presta sobre el 70% del valor de la inversión total del proyecto.

### 1. Determinación de los costos de inversión

Para determinar la inversión total que se requiere para la construcción y puesta en marcha del proyecto, se presenta la **Tabla V**.

**Tabla V:** Costo de inversión total del proyecto

COSTOS DE INVERSIÓN DEL PROYECTO	
Descripción	Costo Lps.
Caldera	11,412,000.00
Turbina y Generador	2,803,000.00
Suavizadores	570,600.00
Apertura de 4 pozos en la UNAH	320,000.00
Obra Civil y contrato de construcción y puestas en marcha	4,867,468.88
Triturador de cartón [10]	178,200.00
Conexión del generador a la red de la UNAH [11]	1,155,911.04
<b>TOTAL</b>	<b>21,307,174.92</b>
<b>Imprevistos - 30%</b>	<b>27,699,327.40</b>

En la **Tabla V** se puede observar que la inversión total del proyecto es de aproximadamente 27.7 millones de lempiras (incluyendo un 30% de imprevistos), de los cuales, el BCIE prestaría aproximadamente 19.4 millones de lempiras, mientras que la UNAH debería invertir aproximadamente 8.3 millones de lempiras

### 2. Determinación de los costos de operación y Mantenimiento CO&M

Para determinar los costos anuales por la compra del cartón se considera que

el mismo es vendido en el basurero municipal a un precio de 0.4 cLPS/lb, resultando un costo total para el primer año de Lps. 462,528 de acuerdo al flujo de cartón requerido.

La Tabla VI presenta el listado del personal propuesto con sus respectivos salarios mensuales y el total anual considerando 14 sueldos.

**Tabla VI: Costos anuales de sueldos y salarios**

Cargo	No.	Sueldo Lps.	TOTAL Lps.
Jefatura (Depto. Mecánico y Eléctrico)	2	18,000.00	36,000.00
Técnicos (2 mecánicos, 1 eléctrico, 1 operador)	4	10,000.00	40,000.00
Secretaria y Asistente Administrativo)	1	6,000.00	6,000.00
<b>TOTAL SALARIOS MENSUALES</b>			<b>82,000.00</b>
<b>TOTAL SALARIOS ANUALES</b>		<b>1,148,000.00</b>	

La distribución del personal considera que los cuatro técnicos pueden ser operadores con turnos rotativos durante 24 horas y el que aparece como operador puede ser técnico mecánico o electricista, asimismo, ellos están encargados del mantenimiento preventivo y correctivo.

Las Jefaturas de los departamentos eléctrico y mecánico están encargadas de todas las labores administrativas y de supervisar las labores de los 4 técnicos. Sumando el costo del cartón más el de sueldos y salarios se tiene un total para el primer año de **Lps. 1,610,528** que se afecta anualmente por un factor de inflación de 4.8%.

### 3. Determinación de los costos de transporte del cartón

La **Tabla VII** presenta el costo estimado anual de transportar el cartón se considera un pago por alquiler de **Lps. 1,300** por viaje de cada volqueta y el pago mensual de Lps. 2,500 para 2 ayudantes que carguen y descarguen el cartón. Este costo se afecta anualmente por el factor de inflación de 4.8%

**Tabla VII:** Costo de transporte de cartón

Costo de Transporte de Cartón	Cantidad
Cantidad de Materia Prima Anual (kg de cartón)	525,600.00
Capacidad de una volqueta (5 ton, 5000 kg)	50,000.00
Cantidad de volquetas requeridas (Aprox, 1 cada 4 días)	105.12
Distancia aproximada basurero UNAH (km) ida y vuelta	58.00
Cobro de alquiler de una volqueta por viaje ida y vuelta	1,300.00
Pago anual de 2 ayudantes para cargar y descargar el cartón	60,000.00
<b>Costo Total Anual por Transporte (Lps.)</b>	<b>196,656.00</b>

#### 4. Factibilidad económica del proyecto

Una vez determinados los costos anuales y el ahorro anual, se puede calcular la factibilidad económica de implementar el proyecto bajo las condiciones anteriores. La **Tabla VIII** muestra este análisis para un periodo de quince años y en la última columna se muestra la Tasa Interna de Retorno (TIR) acumulada al año correspondiente.

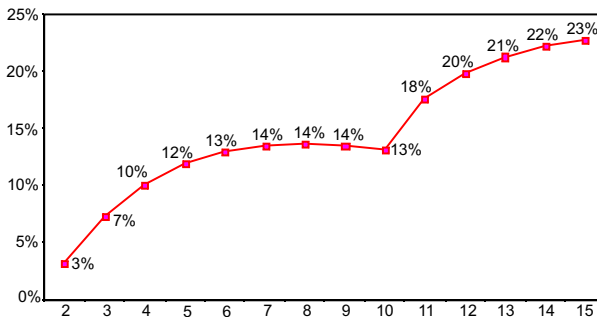
De la **Tabla VIII** se observa que la UNAH recuperaría la inversión realizada en el segundo año donde la TIR se vuelve positiva. Este hecho se debe a que los ingresos netos percibidos de los dos primeros años son altos en razón de los dos años de gracia concedidos por el BCIE; sin esta concesión en el financiamiento la recuperación del capital invertido sería muy lenta.

El proyecto presenta una TIR bastante atractiva (mayor a 14%) a partir del séptimo año de Operación Comercial (ver **Fig.8**), la TIR y las utilidades acumuladas comienzan a crecer a partir del año décimo cuando se ha terminado de pagar el préstamo al BCIE (ver **Fig. 8 y 9**).

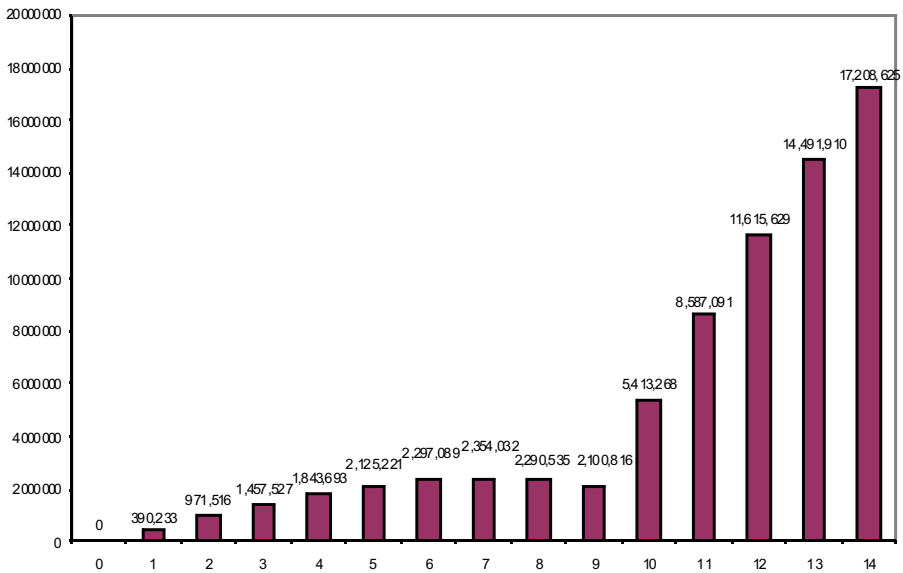
**Tabla VIII: Análisis de Factibilidad Económica**

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA						
No.	Costos Totales	Total Ahorro factura UNAH y venta a ENEE	Diferencia Anual	Diferencia Acumulada	Utilidad Acumulada	TIR Anual
	Lps.	Lps.	Lps.	Lps.	Lps.	%
0			-8,309,798			
1	1,807,184	6,200,572	4,393,388	4,393,388	0	
2	1,893,929	6,200,572	4,306,643	8,700,031	390,233	13%
3	5,619,289	6,200,572	581,283	9,281,314	971,516	7%
4	5,714,561	6,200,572	486,011	9,767,325	1,457,527	10%
5	5,814,406	6,200,572	386,166	10,153,491	1,843,693	12%
6	5,919,044	6,200,572	281,528	10,435,019	2,125,221	13%
7	6,028,704	6,200,572	171,868	10,606,887	2,297,089	14%
8	6,143,629	6,200,572	56,943	10,663,830	2,354,535	14%
9	6,264,069	6,200,572	-63,497	10,600,333	2,290,535	14%
10	6,390,291	6,200,572	-189,719	10,410,614	2,100,816	13%
11	2,888,120	6,200,572	3,312,452	13,723,067	5,413,268	18%
12	3,026,750	6,200,572	3,173,822	16,896,889	8,587,091	20%
13	3,172,033	6,200,572	3,028,538	19,925,428	11,615,629	21%
14	3,324,291	6,200,572	2,876,281	22,801,708	14,491,910	22%
<b>Total</b>	<b>67,490,156</b>	<b>93,008,579</b>	<b>25,518,423</b>			

**Fig. 8.- Evolución de la Tasa Interna de Retorno (TIR)**



**Fig. 9: Utilidades Acumuladas en 15 años**



## CONCLUSIONES

1. El proyecto resultaría técnicamente factible si el nivel freático de la UNAH permitiera la excavación de 4 pozos con capacidad similar a los actualmente existentes en la UNAH. Si no existe posibilidad de disponer del flujo de agua requerido durante toda la vida del proyecto este sería inviable técnicamente.
2. Confirmada la factibilidad técnica, la implementación del proyecto es factible económicamente bajo las condiciones planteadas en la presente investigación.
3. Se debe realizar un análisis de sensibilidad y de riesgos para analizar la incidencia sobre las utilidades acumuladas y sobre la TIR de aspectos como el crecimiento de la inflación anual por arriba de 4.8%, mayores requerimientos de puestos y salarios, incrementos del alquiler de transporte, incremento de la tarifa de energía eléctrica.
4. Confirmada la factibilidad técnica y hecho el análisis de sensibilidad, la decisión de implementar o no el proyecto debe ser tomada por las autoridades universitarias.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el estudio del nivel freático en el área del campo de Fútbol ya que este es el lugar que se ha escogido para la instalación del proyecto y su conexión eléctrica. El departamento de Ing. Civil podría emprender este estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece primeramente a Dios, también se agradece el arduo trabajo de todos los alumnos que cursaron la asignatura de seminario de investigación en el primer semestre de 2007, ya que por el trabajo de todos ellos se pudo realizar el levantamiento de carga de la UNAH, se agradece especialmente a los ex alumnos Mauricio Trigueros, Carlos Girón (I semestre de 2007) y Melvin Aarón Martínez (II semestre de 2006), cuyos trabajos de investigación sirvieron como soporte del presente trabajo de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

**Trigueros, M., Girón, C.**, "Generación de Energía por medio de Biomasa Aplicado a la UNAH". Seminario de Investigación (IE-900) I periodo 2007.

**Martínez, M. A.**, "Energía Biomasa". Seminario de Investigación (IE-900). II periodo 2006.

**Sánchez, L., Molina, L., Escoto, D.**, "Proyecto de Celdas de Combustible con Biogás", Seminario de Investigación (IE-900), II periodo 2007.

"Biomasa" <http://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa>

"Que es la Biomasa" <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14002984/helvia/aula/archivos/repositorio/biomasa.swf>

"Que es una Caldera" [http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera\\_\(m%C3%A1quina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_(m%C3%A1quina))

"Calderas Acuotubulares" <http://html.rincondelvago.com/calderas-y-generadores-de-vapor.html>

"Caldera de vapor" <http://html.rincondelvago.com/calderas-de-vapor.html>

"Imagen de Caldera de vapor" <http://www.termocrom.com.ar/TERMO5.swf>

"Esquema de Central Térmica"

[http://www.xtec.es/~jasensio/pelis\\_flash/termica.swf](http://www.xtec.es/~jasensio/pelis_flash/termica.swf)

"Trituradora de Impacto Horizontal Torgeson AX"

<http://www.jwjonescompany.com/es/equipo/triturdora-de-impacto>

# Vínculo estrategia de operaciones-tecnología en la industria hondureña: Ajuste de selección

César H. Ortega Jiménez\*

## RESUMEN

Estudios anteriores arrojan poca luz sobre las razones que justifiquen que la aplicación de las mismas Prácticas Avanzadas de Producción (PAP) sea eficaz en unas fábricas, pero no lo sea en otras. La Producción de Alto Rendimiento (High Performance Manufacturing, HPM) aduce que cada fábrica productiva tiene que desarrollar su propio camino hacia la eficacia, basándose en dos factores fundamentales: la contingencia y el vínculo entre las PAP. Así pues, partiendo de la hipótesis de que la falta de éxito puede deberse a un defectuoso vínculo entre las PAP, el presente estudio examina dos de ellas: estrategia de operaciones y tecnología. A pesar de la gran importancia de conocer cómo éstas interactúan, su exploración empírica ha sido documentada muy poco en la investigación HPM y en la literatura de Dirección/Gestión de Producción y Operaciones (DGPO). Tomando algunos de los conceptos propios de ambas PAP, este estudio trata un aspecto primordial para la investigación de HPM en Honduras: la posible congruencia entre ambas PAP. Para verificar en qué medida se relacionan, se propone un modelo que teste la posible existencia de equilibrio entre ellas por medio del ajuste de selección.

**Palabras clave:** *Estrategia de Operaciones; Tecnología; Ajuste; Congruencia; Selección.*

## ABSTRACT

High Performance Manufacturing (HPM) maintains that each plant has to develop its own path to high performance based on contingencies and on the links between manufacturing practices. Previous works do not shed much light on the reasons why the implementation of the same practices produces higher performance in some plants and lower performance in others. HPM advocates the view that the lack of success may be due to a deficient interconnection between practices. Drawing on this underlying feature of HPM, this work examines the following two manufacturing practices: manufacturing strategy and technology. Apart from the importance of knowing in detail how these two practices should interrelate, their empirical

---

\*César H. Ortega Jiménez

Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

exploration has not been well documented in HPM research or in the general literature on Production and Operations Management (POM). This paper looks at a critical aspect of HPM research in Honduras: the possible congruency between both practices. In order to verify how they are both are related, a model to test the link between them is proposed by selection fit.

**Keywords: *Congruency; Fit; Selection; Manufacturing Strategy; Technology.***

## INTRODUCCIÓN

Históricamente, la idea con la que la mayoría de las empresas se familiarizan es que a sus directores de producción se les recomienda adoptar toda nueva técnica/enfoque avanzado de práctica de producción que aparece. Nuestro trabajo y la investigación HPM en general, por el contrario, se desmarcan de este pensamiento al asociar a la empresa con un concepto dinámico cuyo enfoque es adoptar únicamente las prácticas avanzadas de producción (con o sin adaptaciones) que, interconectadas, consigan una fábrica productiva de alto rendimiento.

Pero, antes de la selección, adaptación (cuando sea necesario), implementación e interconexión de las prácticas de producción, debe haber un plan estratégico bien concebido basado en la situación particular de la empresa. Sin ello, el esfuerzo de diseño no tendrá el efecto deseado (la consecución del alto rendimiento). Todo lo anterior debe estar unido a una trayectoria deliberada de mejora continua. Este es el enfoque en el que se basa el proyecto *High Performance Manufacturing* (HPM) o Producción de Alto Rendimiento, que puede definirse como un modelo de producción dinámico que recoge, en cada momento del tiempo, las mejores PAP para su posible inclusión como parte de los procesos de producción, dependiendo del contexto particular de la fábrica y de la integración de las nuevas prácticas con lo que la fábrica está haciendo o planea hacer. HPM no es una nueva PAP, sino un conjunto integrado de procesos diseñados para alcanzar una ventaja competitiva mundial sostenible por medio de la mejora continua de la capacidad de fabricación.

El modelo propuesto del proyecto HPM a nivel internacional que sustenta el estudio hondureño y sirve para nuestro estudio, se centra en las siguientes nueve áreas de prácticas: estrategia de operaciones, gestión de calidad (TQM), justo a tiempo (JIT) y teoría de las limitaciones (TOC), recursos humanos (RRHH), Sistemas de información (TIC), desarrollo de nuevos productos (NPD), gestión de la cadena de suministro (GCS), tecnología, mantenimiento productivo total (TPM). El presente estudio se enfoca en la estrategia de operaciones y la tecnología.

Conceptualmente, en HPM, el uso eficaz de recursos tecnológicos, entre otros, es esencial para alcanzar ventaja competitiva sostenible y aumentar el rendimiento de la empresa, por lo que se hace hincapié en la necesidad de la interconexión entre dos de las PAP: estrategia y tecnología (Porter, 1983). Algunos autores (Porter, 1983; Hayes, 1985; Itami y Numagami, 1992; Parthasarthy y Sethi, 1992) presentan al respecto una perspectiva unidireccional, en la que la relación causal va desde tecnología hacia estrategia y no viceversa (ya que las capacidades técnicas existentes deben guiar la formulación de la estrategia).

Según esta perspectiva, una competitividad en la tecnología de producción de la empresa es un trampolín para el desarrollo de la estrategia (Parthasarthy y Sethi, 1992). Así pues, la estrategia de operaciones debe reflejar sus capacidades de producción, incluyendo las iniciativas tecnológicas. Este argumento de complementariedad implica que las fábricas que tratan de lograr altos rendimientos de prácticas de tecnología deben implantarlas en conjunción con la estrategia de operaciones apropiada (ej. Parthasarthy y Sethi, 1992). Ello significa que la tecnología es un factor que limita a la estrategia de dos formas: 1) La tecnología existente determina la estrategia que una organización puede perseguir (Itami y Numagami, 1992); 2) La empresa que quiere perseguir una estrategia diferente debe expandir su base tecnológica (Parker, 2000; Porter, 1983).

En el otro lado de la moneda, algunos investigadores (Skinner, 1969; Dean y Snell, 1996) sostienen que la estrategia debe conducir a la selección de tecnología. De acuerdo con ello, para que la firma pueda ser competitiva, la estrategia conduce el desarrollo de la tecnología (Porter, 1983). De esta manera, el desarrollo tecnológico puede traer a la fábrica, tanto un conjunto de armas competitivas como una base tecnológica más profunda, aplicable también en otros productos/mercados (Itami y Numagami, 1992). Los recursos acumulados de productos/mercados pasados se pueden convertir en fuerzas conductoras detrás de la estrategia de diversificación de la fábrica. Las verdaderas fuentes de ventaja competitiva pueden derivarse de consolidar tecnologías y destrezas de producción en las competencias fundamentales más que de generar productos que la competencia no anticipa.

De acuerdo con ello, las decisiones más importantes de producción de una fábrica deben tomarse para mejorar la base elegida de ventaja competitiva (Hayes et al., 1988). La tecnología de producción figura claramente entre ellas, ya que significa una parte trascendental de la fabricación. Por ello, si se quiere emplear efectivamente la estrategia, debe considerarse la tecnología a la luz de la estrategia de una empresa.

Sin embargo, los fundamentos en cuanto a contingencia e interconexión entre prácticas, en los que se sustenta HPM, no limitan la interrelación entre la estrategia de operaciones y la tecnología. Más allá de las perspectivas unidireccionales mencionadas, HPM está abierto a otras posibles relaciones. Aunque pueden plantearse un sinnúmero de ellas, la presente investigación se centra primordialmente en el enfoque bidireccional de congruencia o selección (Van de Ven y Drazin, 1985) para verificar un posible enlace de similitud entre ambas prácticas. La premisa de ajuste que se asume en la selección es una congruencia entre las prácticas donde ambas se conducen mutuamente.

A continuación, revisamos la literatura y presentamos las posibles relaciones con nuestro marco de referencia. En el apartado 3 discutimos los constructos o conceptos a emplear y en el 4 describimos el modelo propuesto con sus respectivas hipótesis. A continuación (apartado 5) describimos la metodología de investigación del trabajo y discutimos nuestro método de análisis. Finalmente, en el apartado 6 realizamos las consideraciones finales, destacando las implicaciones y las limitaciones de este trabajo.

## **INTERRELACIÓN ENTRE ESTRATEGIA DE OPERACIONES Y TECNOLOGÍA**

Hasta la publicación del libro editado por Schroeder y Flynn (2001), únicamente el estudio de Morita y Flynn (1997), de más de 110 del proyecto internacional de HPM, trata directamente la relación estrategia de operaciones-tecnología, aunque no de forma exclusiva ni exhaustiva ya que, por una parte, aborda la relación de la estrategia de operaciones (sólo con adaptación estratégica) con otras prácticas y, por otra, se ocupa únicamente del concepto de adaptación tecnológica con sus escalas, dejando de lado otras áreas incluidas en HPM. Entre sus conclusiones indican que existe un vínculo importante entre dicho concepto de tecnología y la adaptación estratégica y una correlación alta de dicho vínculo con distintas dimensiones del rendimiento.

Desde entonces, sólo cinco estudios de la investigación HPM a nivel internacional se han ocupado de este tema, encontrándose algunos resultados que confirman de alguna manera dicha relación y su importancia. Matsui (2002) estudia la contribución de diferentes prácticas avanzadas de producción, incluida la estrategia de operaciones (con distintas dimensiones), en el desarrollo de la práctica de tecnología, concretamente de tres dimensiones de tecnología de procesos y del producto (implementación eficaz de procesos, esfuerzos de diseño interfuncional, simplicidad de diseño de productos). Parte de sus resultados son clara evidencia de que la participación de las prácticas avanzadas de producción (incluida la estrategia de operaciones) en el desarrollo de la tecnología tiene un fuerte impacto en la competitividad de la fábrica productiva. McKone y Schroeder (2002) buscan determinar el tipo de compañías que hacen uso de la tecnología de procesos y la tecnología de productos, tomando para ello la relación con el contexto de la fábrica (donde incluyen aspectos estratégicos) pero sin tomar en consideración el rendimiento. Finalmente, una parte del estudio de Ketokivi y Schroeder (2004) trata sobre las eventualidades estratégicas involucradas en la adopción e implementación de varias prácticas avanzadas de producción para lograr altos rendimientos. Sin embargo, sólo incluyen el “diseño para la fabricabilidad” como variable de tecnología. Ortega et al. (2007) presentan un modelo selección para las

dos PAP en fábricas de componentes de automoción y Ortega (2008) muestra algunos resultados empíricos que avalan dicha relación de congruencia.

Por lo que respecta a la literatura general sobre Dirección de Operaciones (DO), la mayoría de los estudios anteriores han tratado la relación entre la estrategia empresarial (no la estrategia de operaciones) y la tecnología, ya sea de forma unidimensional o multidimensional. Algunos investigadores han catalogado las dimensiones importantes de tecnología que se ajustan a una estrategia en particular (ej. Ford, 1980). Por su parte, Parker (2000), sin usar series temporales (estudio longitudinal), trata de hacer una introducción a la dinámica actual y futura entre la estrategia empresarial y la tecnología y su efecto en el rendimiento de la fábrica.

Estos investigadores han estudiado las conexiones empíricas entre dimensiones particulares de tecnología y de estrategia empresarial. Algunos de los hallazgos indican la necesidad de determinar el ajuste entre dimensiones particulares de la estrategia empresarial y la tecnología (ej. Croteau y Bergeron, 2001; Parthasarthy y Sethi, 1993).

Aunque algunas de las investigaciones realizadas han propuesto modelos integrados que describen ajustes entre varias dimensiones de la tecnología y la estrategia empresarial, dichos estudios no han mostrado empíricamente si existe una relación de adaptación entre la estrategia de operaciones y la tecnología que asegure que sólo las organizaciones de alto rendimiento resulten supervivientes por un supuesto proceso de isomorfismo entre las dos prácticas (ajuste de selección).

En conclusión, a pesar de que los estudios mencionados han incrementado la comprensión general del vínculo entre estrategia y tecnología, no han examinado los aspectos de congruencia o selección. Además, aunque han influido en proveer ideas sobre las relaciones entre estrategia y tecnología, las correspondientes validaciones empíricas han sido hasta ahora mínimas, y menores aún respecto a la estrategia de operaciones, ya que la mayoría de dichos estudios analizan las relaciones desde la perspectiva de la estrategia empresarial. De acuerdo con lo anterior podemos concluir que: 1) las investigaciones previas han tenido fundamentalmente orientaciones conceptuales; y 2) no se ha documentado bien el impacto de una posible relación selectiva entre la estrategia de operaciones y la tecnología.

Debido a ello, no está claro si la relación entre la estrategia de operaciones y la

En la búsqueda de mejores resultados, el reto debe ser justificar y examinar por qué y bajo qué condiciones una determinada PAP o un conjunto de ellas puede generar ventaja competitiva (Ketokivi y Schroeder, 2004).

Debido a que el enfoque primordial de este estudio será sobre la relación entre la estrategia de operaciones y la tecnología, consideraremos y definiremos ambas PAP con algunos de los constructos definidos en HPM.

### **1. Estrategia de operaciones**

En el entorno del HPM, la estrategia de operaciones es una declaración de cómo el área de producción apoya a los objetivos generales de la empresa a través del diseño apropiado y de la utilización de recursos y capacidades de producción. En dicho apoyo es esencial el alineamiento de la estrategia de operaciones con la estrategia de marketing y con la estrategia de la empresa en general (Bates et al., 2001). En nuestro estudio se incluyen los siguientes aspectos de la estrategia de operaciones de la investigación internacional HPM: comunicación de la estrategia de operaciones, planificación estratégica formal, vínculo estrategia de operaciones-estrategia de empresa, fortaleza de la estrategia de operaciones, intensidad competitiva de la industria y prácticas excepcionales.

### **2. Tecnología**

Cuando se habla de tecnología es importante considerar no sólo la tecnología de productos y la de producción/procesos sino también la tecnología de información y comunicación (TIC). Solamente al integrar estos tres tipos de tecnología al ajustarlo a la fábrica y a sus prácticas, puede haber una mejor adaptación tecnológica en el camino al alto rendimiento (Maier y Schroeder, 2001). Además, puede decirse que en la investigación HPM a nivel internacional se asume una definición aún más abierta de tecnología, compuesta no sólo por los sistemas de hardware, sino también por los aspectos humanos y organizacionales que se usan en la operativa de la empresa. Así pues, tomando dicha investigación, podemos incluir los siguientes parámetros en la construcción del concepto de tecnología para los modelos que proponemos: esfuerzos de diseño interfuncional, buena disposición para introducir nueva tecnología, previsión de nuevas tecnologías, involucrar a los proveedores, implementación efectiva de procesos, turbulencia del entorno, participación de la DO en el desarrollo de nuevos productos, instrumentos y tecnologías, nivel de personalización desde la TIC.

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En años recientes, un foco importante de investigación en la dirección de operaciones ha sido el plantear el vínculo entre distintas prácticas avanzadas de producción (en nuestro caso estrategia de operaciones y tecnología). En nuestra investigación estudiamos la relación entre las variables, tecnología y estrategia de operaciones, verificando una posible congruencia (enlace de similitud entre las dimensiones de las variables).

En relación con nuestro trabajo, el empleo de la noción de *ajuste* entre prácticas puede ser de utilidad. En general, el ajuste significa que la consistencia entre dos o más factores lleva a un mejor resultado (ver Venkatraman y Prescottt, 1990). Los investigadores del área de organización están entre los primeros que hicieron operativo el concepto de ajuste (ej. Chandler, 1962; Van de Ven y Drazin, 1985).

De acuerdo a lo anterior, primero describiremos la propuesta de la relación que estudiamos y presentaremos su respectiva hipótesis. Para ello se conceptualiza una proposición del papel de la interconexión entre las prácticas en cuestión desde una perspectiva del concepto de ajuste: congruencia o selección (Drazin y Van de Ven, 1985; Delery y Doty, 1996). Dicha perspectiva, que a continuación explicamos, desarrolla las relaciones, que se utilizan en el modelo básico de investigación para intentar comprobar la interrelación.

### 1. Modelo bivalente de ajuste

Desde hace algunas décadas, la perspectiva de contingencia ha sido un enfoque muy importante en la DO (ver Galunic y Eisenhardt, 1994) y ha generado un cuerpo sustancial de conocimiento (ej. Luft y Shields 2003). La teoría de contingencia afirma que el efecto de un factor no puede ser universalmente superior en todos los contextos circunstanciales y organizacionales, por lo que su postulado fundamental es que no existe una mejor manera de organizar. Donaldson (1994) afirma que el centro de la teoría de contingencia es el concepto de ajuste entre características estructurales y contextuales (contingencia) y que el fallo en lograr tal ajuste significaría resultados inferiores.

Aunque el punto de vista de contingencia es un enfoque muy importante en la Dirección de Operaciones (DO), el concepto del ajuste ha sido modelado en formas que dificultan el contraste estadístico. A pesar de dichas dificultades, nuestra intención es tomarlas en consideración para intentar superarlas en nuestros análisis al usar un modelo de ajuste que verifique la posible relación

bidireccional estrategia de operaciones y tecnología. Además, el marco de referencia básico y la fortaleza potencial de sus métodos proveen un fundamento para persistir con la investigación basada en la contingencia y, con ello, descubrir resultados generalizables que puedan mejorar los resultados organizacionales deseados. Sin despreciar la necesidad del estudio en asuntos de relevancia contemporánea sobre dimensiones de variables mayormente comunes sobre la teoría de contingencia (estructurales, contextuales y resultados organizacionales), se puede lograr mucho a partir del trabajo original de los teóricos organizacionales y del pensamiento más reciente sobre HPM en áreas tales como estrategia de operaciones, tecnología, recursos humanos, TPM, y otras prácticas avanzadas de producción.

Básicamente, existen dos formas generales teóricas de ajuste que se usan para clasificar la investigación basada en la teoría de contingencia: la bivariante y la sistémica. Los *modelos bivariantes* examinan la forma en que los factores contextuales (contingentes) están relacionados con aspectos estructurales de la fábrica (ej. un programa avanzado de producción), ya sea conectando o no dicha asociación con el rendimiento (Van de Ven y Drazin, 1985). Los *modelos sistémicos* consideran la manera en que múltiples aspectos estructurales y de contexto se combinan en una variedad de formas para mejorar el rendimiento (ver Galunic y Eisenhardt, 1994). El desarrollo de estos últimos va más allá de los objetivos de nuestro trabajo, por lo que en la presente investigación nos centraremos en los primeros.

Nuestro estudio usa un modelo bivariante de ajuste porque, dentro del enfoque de contingencia, estos modelos incorporan y testan los efectos únicos e identificables de variables contingentes en su relación con características estructurales de la organización. Es decir, con dichos modelos se contemplan dos variables inicialmente independientes. Más allá del enfoque de contingencia, nuestro estudio examina dos variables (estrategia de operaciones y tecnología) para probar si existe algún tipo de sinergia entre ellas, que podría verse como si ambas variables independientes jugasen, al mismo tiempo, un papel tanto contingente como estructural. Aunque en realidad no estamos realmente usando el enfoque de contingencia, sino más bien un tipo de ajuste que se usan en dicho enfoque, ello sirve como punto de partida de comparación ya que la poca literatura que existe sobre el enlace de estas prácticas (con distintos criterios) ha sido realizada con el enfoque de contingencia (ej. Bergeron y Raymon, 1995).

Puesto de otra manera, el enlace o ajuste entre las dos prácticas avanzadas de producción pretende conceptualizar cómo la estrategia de operaciones crea un entorno (contexto o contingencia) propicio para que la tecnología sea eficaz en una fábrica, al mismo tiempo que la tecnología hace lo propio por la estrategia de operaciones. En general, un número variado de PAP y el contexto mismo de la fábrica pueden contribuir a la eficacia de la estrategia de operaciones o/y de la tecnología, pero debido a que el propósito de este estudio es el vínculo entre estas dos prácticas, nos limitamos a considerar la interrelación entre ambas. El impacto de la interrelación con el contexto y con otras prácticas y el impacto directo del vínculo sobre el rendimiento los dejamos para futuros estudios.

Comúnmente, en la investigación basada en contingencia aparecen dos formas de conceptualización de ajuste bivariante (Van de Ven y Drazin, 1985; Venkatraman, 1989): selección e interacción. Nuestro estudio se centra en la forma de selección, que a continuación comentamos.

## **2. Congruencia/selección**

En sus inicios, en los sesenta (ej. Woodward, 1965) y setenta (ej. Van de Ven y Delbecq, 1974), para ver cómo se producía un ajuste bivariante, los estudios de contingencia se concentraron en el *enfoque de congruencia o selección*, es decir sin verificar los posibles impactos directos de la dependencia de dicho ajuste sobre la eficacia. Sin embargo, por su importancia y su facilidad de hacer operativa su forma funcional de ajuste, se ha continuado usando en las siguientes décadas (Galunic y Eisenhardt, 1994; Meilich, 2006).

Así pues, la forma de ajuste llamada selección o congruencia es la más común en la literatura empírica de contingencia (Galunic y Eisenhardt, 1994; Meilich, 2006). Con ella queremos asumir que las combinaciones débiles de los elementos entre la estrategia de operaciones y la tecnología tienden a desaparecer (por extinción o por adaptación). Por ello, las medidas supervivientes y todas sus combinaciones deberían exhibir la congruencia apropiada. En línea con ello, examinaremos la manera en que los factores de tecnología se relacionan con los aspectos de estrategia de operaciones, sin intentar medir si dicha asociación tiene vínculos con el rendimiento. En el estudio de esta relación nos centramos en la identificación de perfiles específicos de la tecnología asociados con diferentes dimensiones de la estrategia de operaciones. Este enfoque no contempla determinar la dirección de la causalidad, sino que presenta un

camino para un estudio transversal que permite establecer si existe una posible congruencia entre la estrategia de operaciones y la tecnología.

La posibilidad de una trayectoria de dos caminos entre la estrategia de operaciones y la tecnología se ilustra en el modelo, donde se examinan simultáneamente las conexiones entre ambas variables. La tecnología puede ser la variable independiente que influencia la estrategia de operaciones y viceversa. En la figura siguiente, conocida como modelo no recursivo recíproco, se presentan una flecha bidireccional, donde la estrategia de operaciones y la tecnología se determinan de forma simultánea o a intervalos demasiados cortos para que las influencias causales, en diferentes direcciones, puedan distinguirse empíricamente (Luft y Shields, 2003). Este modelo también indica que, estadísticamente hablando, no existe diferencia entre si la flecha va de la estrategia de operaciones hacia la tecnología o viceversa (por ejemplo Croteau y Bergeron, 2001). Ello reitera lo dicho más atrás de que este modelo no examina la relación causa-efecto en la búsqueda de correlación entre estas dos prácticas.



Figura 1. Congruencia estrategia de operaciones-tecnología.

Su forma funcional de ajuste es una correspondencia lineal entre la estrategia de operaciones y la tecnología. Se asume que las combinaciones no ajustadas tienden a desaparecer rápidamente y que las combinaciones supervivientes son aquellas cuyas características de la estrategia de operaciones son congruentes con las características de la tecnología. Además, es muy simple hacerlo operativo, ya sea como correlación o como regresión cuando ambas variables (tecnología y estrategia de operaciones) son continuas o a través del ANOVA de un sentido cuando una de las variables es discreta.

Los puntos de fortaleza de este método son su procedimiento sencillo y el hecho de

que no requiere la medición de una tercera variable como resultado. Por todo lo anterior, se propone que existe una relación de apoyo mutuo entre la estrategia de operaciones y la tecnología. Con esta hipótesis se espera poder probar si hay una relación bidireccional entre las prácticas de estrategia de operaciones y de tecnología.

H: *Existe congruencia entre la estrategia de operaciones y la tecnología.*

## **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Este apartado describe el diseño y la metodología de investigación que se sigue para testar el modelo y la hipótesis anteriormente establecidos. Esta investigación usa la *encuesta* como técnica básica de obtención de datos. Uno de los elementos fundamentales en esta técnica es la aplicación de los cuestionarios, en los que se recogen aquellas preguntas que permitirán dar respuesta a las cuestiones de investigación planteadas en nuestro estudio. En nuestro caso, hay que tener en cuenta que la investigación que presentamos es parte de un proyecto de carácter internacional con varios años de funcionamiento, por lo que antes de iniciar nuestro estudio, los cuestionarios ya habían sido previamente elaborados. No obstante, durante nuestro estudio los cuestionarios originales fueron objeto de traducción, revisión y adaptación para su uso en el ámbito nacional. En total son 12 los cuestionarios utilizados, dirigidos a otros tantos puestos dentro de cada fábrica (desde el director de la fábrica hasta los operarios de base), que se pasan a 21 informantes.

En estos 12 cuestionarios se contemplan todas las escalas y las medidas de todas las prácticas/iniciativas avanzadas de producción a través de cientos de ítems distintos. Asimismo, los cuestionarios incorporan la recolección de un número substancial de datos objetivos relacionados con el rendimiento y las características de la fábrica, así como con diversas variables exógenas. Sin embargo, la información necesaria para el análisis de los datos de la presente investigación se centra exclusivamente en la estrategia de operaciones, en la tecnología y en el rendimiento de las fábricas. Cada escala está incluida en al menos dos cuestionarios diferentes, con objeto de poder triangular la información, obteniendo así una mayor fiabilidad.

Los ítems y escalas utilizadas como instrumentos de medición del estudio internacional de HPM se desarrollaron a partir de la revisión extensa a la literatura relevante sobre prácticas de fabricación. Para asegurar la validez de contenido, estos fueron revisados por un panel de expertos y se realizaron pre-test en varias

fábricas en una prueba piloto. También han sido sometidos a análisis de fiabilidad, validez y consistencia interna, a través de las habituales pruebas estadísticas y no estadísticas (entre ellas: matrices de intercorrelación, alfas de Cronbach, revisión bibliográfica y entrevistas estructuradas, análisis factorial y correlación canónica). Además, a lo largo de la vida de la investigación internacional de HPM, los cuestionarios se han ido revisando sobre la base de los datos obtenidos y lo aprendido a partir de su análisis, por lo que las escalas que se mostraron no válidas se han ido eliminando o modificando para aumentar su fiabilidad y validez, al tiempo que se han ido añadiendo otras escalas para medir nuevos conceptos. Como resultado de todo ello, la consistencia interna, la validez de construcción y la validez nomológica muestran valores fuertes en las escalas finalmente empleadas (ej. Flynn, et al., 1995).

Así pues, en la presente investigación nos encontramos con unos cuestionarios muy exhaustivos cuya fiabilidad y validez ha sido ampliamente contrastada, pero que distaron mucho de ser utilizados inmediatamente. Nuestro trabajo ha consistido en revisarlos para observar si eran completamente adecuados al contexto industrial de nuestro país o si, por el contrario, requerían algún tipo de adaptación, así como traducirlos y adaptarlos en la medida de lo posible a los usos y terminologías de los sectores industriales objeto de nuestro estudio.

En relación con la *muestra*, la unidad de análisis a utilizar es la fábrica individual, no la empresa, ya que pueden existir diferencias notables entre fábricas de una misma empresa en relación con las prácticas, el rendimiento y los factores contextuales. Asimismo, y dado que algunas de las prácticas analizadas no son aplicables en fábricas pequeñas, se ha establecido que éstas deberán tener al menos una plantilla de 70 trabajadores.

En la recogida de datos de las fábricas hondureñas, se pretende establecer una relación personalizada con cada una de las fábricas de la muestra. Para ello, miembros del equipo de investigación HPM hondureño contactarán las fábricas seleccionadas para exponer brevemente la idea del estudio y hacer una visita para una presentación más detallada, invitándoles a participar en el estudio. Actualmente, nos encontramos en esta fase de selección del sector industrial. Se espera un ritmo de relativa alta respuesta al usar una estrategia de establecer alianzas con distintas instituciones tanto privadas como públicas y de contactar personalmente con las fábricas (teléfono, visitas y cartas), prometiéndoles que recibirían un perfil de fábrica para su comparación con el conjunto de las fábricas de su sector. Además, se les asegura a las fábricas la confidencialidad de los datos, al hacer los análisis respectivos de los cuestionarios exclusivamente por miembros

del equipo investigador hondureño, así como al identificar a cada fábrica, en todo momento, sólo a través de un código.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

Futuros resultados empíricos, con un fuerte grado de congruencia entre ambas PAP, pueden sugerir que cuando una fábrica implementa o ajusta cualquiera de estas PAP, debe considerar también a la otra; de otra manera las PAP pueden no operar eficazmente en la fábrica.

A la espera de contar con todos los datos que nos permitan verificar nuestras hipótesis, terminamos este trabajo señalando una serie de consideraciones en torno a las principales aportaciones que se derivan de nuestra investigación y a las limitaciones de la misma bajo las cuales han de ser considerados sus resultados y conclusiones.

La falta de estudios sobre producción de alto rendimiento, en cualquier sector industrial hondureño o latinoamericano en general, nos hace pensar que este estudio puede resultar de gran interés para académicos y profesionales en Honduras. Este estudio, y otros que resulten de la aplicación en Honduras del proyecto de investigación internacional HPM, significarán un avance importante sobre las creencias tradicionales que existen actualmente en relación con los efectos de las prácticas avanzadas de producción y sus vínculos sobre el rendimiento de las fábricas. Nuestra investigación permitirá evaluar algunos factores críticos de éxito en el área de operaciones y realizar comparaciones con los resultados de la investigación HPM en otros países. Todo ello, posibilitará el avance del conocimiento en cuestiones que resultan especialmente necesarias y urgentes, dada la creciente presión competitiva que conlleva la globalización.

Por otro lado, nuestro estudio lleva cabo una recopilación, análisis y resumen exhaustivo de la literatura del tema, basado en los aspectos teóricos de HPM. Como se ha apuntado, el cimiento del modelo HPM enfatiza la contingencia, la integración y la utilización de conceptos diferentes de dirección para lograr la habilidad de una unidad de fabricación de alcanzar mejoras continuas en el área de producción. Además, se apunta que este objetivo del HPM de lograr y mantener el alto rendimiento es evasivo debido a que cada fábrica es única y por tanto no puede haber un método universal para alcanzar y sostener el estatus HPM.

Una cuestión importante es que la investigación empírica de HPM puede servir para documentar la situación de las fábricas HP en el momento actual, así como para

realizar estudios longitudinales. De la misma manera, puede ser extremadamente valiosa en el desarrollo de parámetros y distribuciones aleatorias para estudios matemáticos y de modelos de simulación. Otro uso muy importante de los datos empíricos es la construcción y verificación de la teoría, algo que se ignora muchas veces en las investigaciones dentro del área de Dirección de Producción/Operaciones. Los investigadores de producción pueden ser reacios a hacer estudios empíricos, debido a sus costos, tanto en dinero como en tiempo, así como el riesgo relativo que ello comporta. Puede darse el caso de que la investigación empírica sea considerada débil y percibida como arriesgada al compararla con la modelación matemática. Sin embargo, el proyecto internacional HPM proporciona unos sólidos fundamentos para la investigación empírica, a partir de la construcción de una potente base de datos, lo cual permite minimizar los riesgos de los investigadores. Además, los estudios de sus diferentes autores proveen discusiones de técnicas analíticas y ejemplos de investigaciones empíricas extremadamente rigurosas.

En este sentido, los cuestionarios utilizados han sido diseñados de manera que recogen resultados empíricos fiables y nacionalmente comparables que reflejan los aspectos multifacéticos de estructuras de producción modernas. Esto es un punto fuerte del estudio, ya que los cuestionarios condicionan la relevancia de las conclusiones que se puedan derivar. Estos resultados del estudio de campo permitirán a las compañías involucradas evaluar diferencias con el conjunto de las compañías de su industria y eventualmente analizar debilidades existentes y aumentar potenciales existentes. Asimismo, es necesario tener siempre presente la posibilidad de una futura comparación nacional e internacional, con la importancia particular de verificar si existen diferencias entre las compañías de alto rendimiento y el resto. Esto no significa modificar la metodología seguida, ya que el modo de recopilación de respuestas se ajusta a muestras grandes y áreas geográficas extensas. Con esto podría crearse una plataforma para el aumento de la competitividad de las compañías hondureñas.

Como ya se ha dicho, el presente estudio se centra principalmente en la relación entre la estrategia de operaciones y la tecnología. La literatura actual al respecto, es, en su mayoría, preceptiva existiendo muy poca investigación empírica. Nuestro punto de referencia es el proyecto internacional de HPM, de donde se hace una revisión de la literatura al respecto. Además, se identifica conceptualmente un marco de referencia que investiga la relación entre la estrategia de operaciones y la tecnología. Para ello se introduce el concepto de ajuste para tratar de explicar por qué el vínculo entre la estrategia de operaciones y la tecnología puede ser un éxito en una fábrica y un fracaso en otra. En general, se examina el concepto de ajuste

empírico desde la perspectiva de selección. Dicha perspectiva propone verificar si existe una interconexión entre la estrategia de operaciones y la tecnología, sin que se mida la dirección de causalidad.

En relación con el mundo empresarial, la investigación de campo tiene relevancia para todas las fábricas interesadas en seguir los conceptos de producción relacionados con el alto rendimiento en la producción y con la mejora continua. Puede servir para mostrar a los directivos qué prácticas de producción son más importantes para alcanzar ventajas competitivas, así como los efectos positivos de la integración de las mismas, aspecto no suficientemente claro en el momento actual. También puede ilustrar a los directivos sobre cómo los factores fuera de su control (como la cultura nacional y las políticas económicas nacionales) no son causa suficiente para disuadirlos de alcanzar el estatus de HPM en sus fábricas. Además, puede ayudar a demostrar que los bajos costos de producción y la diferenciación son dos objetivos que no necesariamente están en conflicto, sino que pueden apoyarse mutuamente (algo de lo cual sólo existe en una evidencia limitada).

Desde un punto de vista práctico y concreto, las fábricas que participan en la investigación de campo recibirán comparaciones directas de sus fábricas con las muestras de la industria de fábricas (tanto las estándares como las de HPM). Esto les ayudará a identificar sus fortalezas y debilidades y las áreas para mejora en las prácticas de producción validas. Las firmas participantes podrán conocer también las prácticas de producción que pueden ser aplicadas a todas las fábricas en su firma. Asimismo, las lecciones aprendidas en la investigación se pueden propagar a la industria en general.

Para terminar, es importante evaluar de forma crítica el estudio completo ya que, como todo trabajo de investigación, éste tiene ciertas limitaciones que necesitan tenerse presentes al considerar el estudio y sus contribuciones. Sin embargo, algunas de estas limitaciones pueden verse como caminos fructíferos para futuras investigaciones bajo los mismos temas.

Como en cualquier investigación empírica, los resultados y conclusiones del estudio de campo deberán ser acogidos con la cautela que exigen las limitaciones de las técnicas en las que se sustenta. Asimismo, hay que tener presente que el tamaño de las fábricas analizadas puede hacer que los resultados del estudio no resulten válidos para las pequeñas y micro empresas que, como se sabe, constituyen el grueso del tejido industrial hondureño. Potencialmente, esto constituye una estructura y contexto industrial similar al de Italia (Schroeder y Flynn,

2001) y España, donde algunas adaptaciones de las prácticas ocurren por el tamaño de sus empresas.

Además, el modelo de selección, que usamos en el presente trabajo, impone una correspondencia lineal entre las variables estrategia de operaciones y tecnología e incorpora una sola medida de resultado implícita (supervivencia), sin tomar en cuenta un resultado directo del vínculo sobre el rendimiento. Esta forma de ajuste, primordialmente de correspondencia lineal, no toma en cuenta relaciones más complejas como una relación curvilínea, que podría permitir probar la existencia de dos valores permitidos de una de las variables (estrategia de operaciones o tecnología) por un solo valor de la otra.

Finalmente, tomando algunas de estas limitaciones, podemos agregar que una extensión natural de la perspectiva de selección, usadas en nuestro estudio, sería tratar las preguntas de investigación que guían este estudio desde una perspectiva de interacción. Esta última permite comprobar relaciones curvilíneas, al plantear hipótesis sobre las dependencias entre el ajuste de las variables independientes y un resultado (Van de Ven y Drazin, 1985; Venkatraman, 1989). Así pues, permite verificar si el rendimiento resulta de la interacción entre estrategia de operaciones y tecnología.

## **RECONOCIMIENTO**

El presente trabajo tiene como marco base el proyecto HPM de investigación científica y desarrollo tecnológico del Programa Nacional de Diseño de Producción Industrial del Ministerio de Educación y Ciencia de España (DPI 2006).

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Bates, K, Blackmon, K, Flynn, E. and Voss, C. 2001. "Manufacturing Strategy: Building Capability for Dynamic Markets". In: Schroeder y Flynn. High Performance Manufacturing-Global Perspectives. New York: John Wiley & Sons, Inc. pp. 42-72.
- Bergeron F. and Raymond L. 1995. "The contribution of IT to the bottom line: a contingency perspective of strategic dimensions". Proceedings of the 16th International Conference on Information Systems, Amsterdam. p. 167-181.
- Chandler, A. D., Jr. 1962. Strategy and Structure. Cambridge, MA: MIT Press.
- Croteau, A. and Bergeron, F. "An information technology trilogy: business strategy, technological deployment and organizational performance". Journal of Strategic Information Systems, (10): 77-99. 2001.

- Dean, J.W. Jr and Snell, S.A. "The strategic use of integrated manufacturing: an empirical examination". *Strategic Management Journal*. 17(6): 459-80. 1996
- Delery, J. and Doty, D. "Modes of theorizing in strategic human resource management: Tests of universalistic, contingency, and configurational performance predictions". *Academy Management Journal*, 39(4), 802-835. 1996
- Donaldson, L. 1994. *Contingency theory*. Aldershot, UK: Dartmouth.
- Flynn, B.B., Sakakibara, S. and Schroeder, R.G. "Relationship between JIT and TQM: Practices and Performance". *Academy of Management Journal* 38 (5): 1325-1360. 1995
- Ford, D. "Develop Your Technology Strategy". *Long-Range Planning*. (21): 85-95. 1980
- Galunic, D.C. and Eisenhardt, K.M. 1994. "Renewing the strategystructure performance paradigm". In: Staw, B.M., Cummings, L.L. (dir), *Research in Organizational Behavior*, JAI Press, Greenwich, CT.
- Hayes R. H. "Strategic planning - forward in reverse?". *Harvard Business Review*, (63):67-77. 1985.
- Hayes R. H., Wheelwright S. C. and Clark K. B. 1988. *Dynamic manufacturing: Creating the learning organization*. New York: Free Press.
- Itami, H., and Numagami, T. "Dynamic Interaction Between Strategy and Technology". *Strategic Management Journal*. (13): 119-136. 1992
- Ketokivi, M. and Schroeder, R. G.. "Manufacturing practices, strategic fit and performance. A routine-based view". *International Journal of Operations & Production Management*. 24 (2): 171-191. 2004
- Luft, J. and Shields M.D. "Mapping management accounting: graphics and guidelines for theory-consistent empirical research". *Accounting, Organizations and Society* 28: 169-249. 2003.
- Maier, F. and Schroeder, R. 2001. "Competitive Product and Process Technology". In: Schroeder y Flynn (dir), *High Performance Manufacturing-Global Perspectives*, New York: John Wiley & Sons, Inc; p. 74-114.
- Matsui, Y. "Contribution of manufacturing departments to technology development: An empirical analysis for machinery, electrical and electronics, and automobile plants in Japan". *International Journal of Production Economics*. 80: 185-197. 2002.
- McKone, K.E. y Schroeder, R.G. "A plant's technology emphasis and approach. A contextual view". *International Journal of Operations & Production Management*. 22 (7): 772-792. 2002.
- Meilich O. "Bivariate Models of Fit in Contingency Theory. Critique and a Polynomial Regression Alternative". *Organizational Research Methods*. 9 (2): 161-193. 2006.
- Morita, M., and Flynn, E.J.. "The Linking among Management Systems, Practices

- and Behavior in Successful Manufacturing Strategy". *International Journal of Operations and Management*. 17 (10): 967-993. 1997
- Ortega (2008): "Interrelación Estrategia de Operaciones-Tecnología y su Efecto sobre el Rendimiento de Producción: Análisis Empírico Sectorial en el Proyecto HPM Internacional". Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- Ortega, C.H., Garrido, P. y D. Machuca J. 2007. "Propuesta de un Modelo de Congruencia entre la Estrategia de Operaciones y la Tecnología". XVII congreso nacional de ACEDE. Sevilla. 2007.
- Parker, A. "Impact on the Organizational Performance of the Strategy-Technology Policy Interaction". *Journal of Business Research*. 47: 55-64. 2000.
- Parthasarthy, R. y Sethi, S. "Relating strategy and structure to flexible automation: a test of fit and performance implications". *Strategic Management Journal*. 14: 529-549. 1993.
- Porter, M. E. 1983. "The Technological Dimension of Competitive Strategy". In: *Research on Technological Innovation, Management, and Policy*. Greenwich, CT. p. 133.
- Skinner, W. "Manufacturing - Missing Link in Corporate Strategy". *Harvard Business Review*. May-June p. 136-145. 1969.
- Van de Ven, A.H. y Delbecq "A task contingent model of work-unit structure". *Administrative Science Quarterly*. 192: 183-197. 1974.
- Van de Ven, A.H., Drazin, R. 1985. "The concept of fit in contingency theory". Greenwich, CT. *Research in Organizational Behavior*, JAI Press.
- Venkatraman, N. "The concept of fit in strategy research: toward verbal and statistical correspondence". *Academy of Management Review*. 14: 423-444. 1989.
- Venkatraman, N. and Prescott, J.E. "Environment-strategy coalignment: an empirical test of its performance implications". *Strategic Management Journal* 11 (1): 123. 1990.
- Wheelwright S. C. and Bowen H. K. 1996. "The Challenge of Manufacturing Advantage". *Production and Operations Management*. 5: 59-77.
- Woodward, J. 1965. *Industrial organization: Theory and Practice*. London: Oxford University Press.

## Registro de un nuevo helecho para la Flora de Honduras

Ruth Karina Hernández Cibrian\*  
Cyril Hardy Nelson Sutherland\*

### RESUMEN

Se describe el hallazgo del helecho *Polypodium ursipes* como planta nueva para la flora pteridófito de Honduras.

**Palabras clave:** *Helechos, flora, Honduras*

### ABSTRACT

The finding of a new fern of Honduras is reported.

**Key Words:** *Fern, flora, Honduras*

---

\* Ruth Karina Hernández Cibrian, [sphagnum1@yahoo.com](mailto:sphagnum1@yahoo.com)

\* Cyril Hardy Nelson Sutherland, [chnelsons@yahoo.com](mailto:chnelsons@yahoo.com)  
Escuela de Biología, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

## INTRODUCCIÓN

Aunque no se ha registrado totalmente la flora vascular de Honduras, se estima que puede representar aproximadamente el 2.5% de las 300,000 especies de plantas vasculares reportadas a nivel mundial. (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, SERNA, 2001). Dentro de esta flora vascular se encuentran los helechos, que son plantas con un gran número de especies, adaptadas a diferentes hábitats y se encuentran con mayor abundancia en las regiones húmedas y templadas. Los helechos a pesar de tener una gran diversidad de formas y tamaños, no han sido objeto de mucho estudio. En Honduras destacan las siguientes publicaciones acerca de los helechos: Cruz, G. y M. Erazo (1977), Nelson, C., R. Gamarra y J. Fernández. (1996), Chang, P. 2002 y Ruth Hernández (2004).

## MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en la zona núcleo del parque nacional La Tigra (PNLT), específicamente en el sendero La Esperanza, ubicado entre 1,940 y 2,120 msnm, con una longitud de 2.5 km y la vegetación predominante es latifoliada muy diversa. El trabajo de campo se realizó durante los meses de septiembre a diciembre del año 2002 (estación lluviosa) y durante los meses de febrero y marzo del año 2003 (estación seca). Se establecieron y delimitaron 12 parcelas (no permanentes) 20x20 m, ubicadas aleatoriamente a lo largo del sendero. Cada parcela fue dividida en 4 subparcelas de 10x10 m para tener un total de 48 subparcelas. A las parcelas 20x20 m, se les asignó un número del 1 al 12 y las subparcelas se identificaron con las letras del abecedario a, b, c y d. Para la colecta de helechos se utilizó prensas de madera, tijeras de podar, cartones, papel periódico, alcohol al 70%, bote atomizador, horno para secar plantas, GPS Magellan 315 y una cámara Canon AE-1. La identificación de las diferentes especies de helechos se realizó utilizando claves taxonómicas, comparando los especímenes con los que se encuentran depositados en el Herbario de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (TEFH) y con la ayuda del Dr. Cyril Hardy Nelson y el Dr. John T. Mickel del New York Botanical Garden. Los duplicados de algunos de los ejemplares se encuentran depositados en el New York Botanical Garden (NY), Herbario Nacional Colombiano (COL) y los ejemplares de referencia se encuentran depositados en el Herbario Universidad Nacional Autónoma de Honduras (TEFH).

---

<sup>8</sup>Mencionan en su trabajo realizado en el parque nacional La Tigra un listado de 32 especies de helechos sin embargo, durante mi trabajo de investigación obtuve 38 nuevos registros dentro de los cuales sobresale *Polypodium ursipes*.

<sup>9</sup>A pesar de que es una guía ilustrada tiene solamente algunas fotografías de helechos.

## DISCUSIÓN

*Polypodium Ursipes* se encontró en el sendero La Esperanza a una altura de 2,020 msnm, el 27 de octubre del 2002, colectado por Ruth Karina Hernández Cibrián con número de colecta 227. El espécimen fue identificado por el Dr. John Thomas Mickel Pteridólogo del New York Botanical Garden (NY). Se encuentran duplicados en el Herbario de La Universidad Nacional Autónoma de Honduras (TEFH) y Herbario New York Botanical Garden (NY). *Polypodium ursipes* forma parte del gran número de especies raras representada generalmente por un solo individuo lo cual puede deberse a que su capacidad de dispersión y reproducción no es muy elevada, además de que las poblaciones de especies que tienen pocos individuos no obtienen la cantidad de recursos (nutrientes) suficientes como las poblaciones que son abundantes y por consecuencia, esto conduce a su rareza. También puede decirse que su rareza puede ser el resultado de no haber muestreado el dosel superior.



*Polypodium ursipes*

## CONCLUSIONES

Con el hallazgo de *Polypodium ursipes* se enriquece la flora de Honduras. Deben realizarse investigaciones orientadas a conocer la diversidad de helechos,

utilizando técnicas de muestreo en donde se analicen parámetros medioambientales además es importante conocer que uso le da la población hondureña a las diferentes especies de helechos y así generar información sobre este grupo de plantas.

## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de este artículo ha sido posible al trabajo de tesis realizado en el 2004 en el parque nacional La Tigra y al apoyo del Dr. y Cyril Nelson.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Chang, P. 2002. Guía ilustrada para la identificación de 31 especies de helechos encontrados en la reserva de la montaña Uyuca. El Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana (EAP). Tesis. 1-42 p.
- Cruz, G. y M, Erazo 1997. Análisis de la vegetación del bosque nebuloso "La Tigra" (reserva forestal San Juancito). *Ceiba* 21(2): 19-66.
- Hernández, R. 2004. Diversidad de helechos del sendero La Esperanza del parque nacional La Tigra. Tesis 1-299 p. (de que institución)
- Nelson, C., R. Gamarra y J. Fernández. (1996). Hondurensis plantarum vascularium catalagus. Pterydophyta. Fontqueria. 43: 1-223.
- Honduras. Secretaria de Recursos Naturales (SERNA). 2001. Estudio sobre la biodiversidad biológica de la República de Honduras. Tegucigalpa: Multiprint; p. 1-158.

## **Modelo numérico de movimiento ondulatorio en un medio heterogéneo no isotrópico bajo condiciones de estabilidad orbital**

Fredy Vides\*

### **RESUMEN**

El objetivo principal de este escrito es modelar un fenómeno de movimiento ondulatorio bajo condiciones dinámicas de estabilidad orbital en un medio heterogéneo no-isotrópico para ello utilizaremos métodos miméticos de diferencia finita, con esto en mente construiremos representaciones discretas de operadores diferenciales en el espacio con coeficientes variables y sus respectivos consideraciones en la frontera, luego combinaremos estas representaciones con un esquema adaptativo de integración temporal para el cálculo de la historia del fenómeno, finalmente validaremos la convergencia del método presentado aquí para la modelización del fenómeno a través de algunos experimentos de interés.

**Palabras clave:** *Ecuación de Onda, Métodos Miméticos, Integración Temporal, Operadores diferenciales espaciales, Medio No Isotrópico, Estabilidad Orbital.*

### **ABSTRACT**

The main objective of this paper is to present a model of wave motion under dynamical conditions of orbital stability in heterogeneous non-isotropic media using finite difference mimetic methods, with this in mind we will build up discrete representations of spatial differential operators with variable coefficients and its respective boundary considerations, after this we'll combine these representations in an adaptive time integration scheme for the computation of the phenomena history, finally we'll validate method's convergence presented here using some interesting experiments.

**Keyword:** *Wave Equation, Mimetic Methods, Time Integration, Spatial Differential Operators, Non-Isotropic Media, Orbital Stability.*

---

\* Fredy Vides, [fvides@unah.edu.hn](mailto:fvides@unah.edu.hn)

Departamento de Matemáticas, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

## INTRODUCCIÓN

En este artículo estudiaremos un caso particular de la Ecuación de Onda Estándar que tiene la forma:

$$\psi_{tt} - [\nabla \circ (k\nabla)]\psi + l\psi = \varphi, (x, t) \in \Omega \times R_0^+ \quad (1.1)$$

donde también satisface las relaciones:

$$B\psi = \psi_b, (x, t) \in \partial\Omega \times R_0^+ \quad (1.2)$$

$$\psi(x, 0) = \psi_0(x) \quad \psi_t(x, 0) = \psi_1(x) \quad x \in \bar{\Omega} \quad (1.3)$$

Aquí (1.2) y (1.3) son condiciones de frontera e inicial respectivamente, para nuestro estudio consideraremos como el Operador de Condición de Dirichlet y además

$$k(x, t) = \kappa(x) \quad l(x, t) = \lambda(x) \quad \varphi(x, t) = 0 \quad (1.4)$$

Tomaremos en cuenta esencialmente dos casos, cuando una onda solitaria se desenvuelve en un medio y cuando un sistema de al menos dos ondas comparten el mismo medio y a la vez satisfacen una variación de (1.1), (1.2) y (1.3) en la forma

$$\Psi_{tt} - [\nabla \circ [\kappa\nabla]]\Psi = \Lambda\Psi, (x, t) \in \Omega \times R_0^+ \quad (1.5)$$

$$B\Psi = \Psi_b, (x, t) \in \partial\Omega \times R_0^+ \quad (1.6)$$

$$\Psi(x, 0) = \Psi_0(x) \quad \Psi_t(x, 0) = \Psi_1(x) \quad x \in \bar{\Omega} \quad (1.7)$$

Aquí

$$\Psi : \bar{\Omega} \times R_0^+ \mapsto R^n \quad (1.8)$$

$$\kappa : R^n \mapsto R^{n \times n} \quad (1.9)$$

$$\Lambda : R^n \mapsto R^n \quad (1.10)$$

Como puede verse en (1.5) hay un sistema de ecuaciones diferenciales de segundo orden en tiempo y espacio, algo que será útil para el tratamiento numérico de este problema será definir la variable, relacionada con en la forma:

$$\Psi_t = \Phi \quad (1.11)$$

Esto lleva a

$$\begin{bmatrix} \Psi \\ \Phi \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} 0 & I \\ \llbracket \nabla \circ [\kappa \nabla] \rrbracket + \Lambda & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi \\ \Phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \Psi_b \end{bmatrix} \quad (1.12)$$

donde (1.12) es claramente un sistema de primer orden en el tiempo, que satisfará

$$\begin{bmatrix} \Psi(x,0) \\ \Phi(x,0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_0(x) \\ \Psi_1(x) \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

En las secciones siguientes definiremos las representaciones discretas *DKG* para  $\llbracket \nabla \circ [\kappa \nabla] \rrbracket$  y  $M = [DKG + \Lambda]$  para  $M = \llbracket \nabla \circ [\kappa \nabla] \rrbracket + \Lambda$ , luego combinaremos esto en un método numérico que resuelve el problema mixto:

$$\begin{bmatrix} \Psi \\ \Phi \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} 0 & I \\ M & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi \\ \Phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \Psi_b \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

sujeto a (1.13).

## REPRESENTACIONES DE DIFERENCIA FINITA PARA OPERADORES DIFERENCIALES EN EL ESPACIO

Antes de comenzar con la discretización de un operador diferencial daremos un vistazo rápido a algunos conceptos básicos.

### 1. Fundamentos de Aproximaciones de Diferencia Finita

Tomemos la definición usual derivada de una función con respecto a una variable evaluada en un punto específico  $x_0$ :

$$D_x \psi(x_0) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h} (\psi(x_0 + h) - \psi(x_0)) \quad (2.1.1)$$

una idea para calcular un valor aproximado de (2.1.1) podría ser

$$D_x \psi(x_0) \approx \frac{1}{h} (\psi(x_0 + h) - \psi(x_0)), 0 < h \ll 1 \quad (2.1.2)$$

por supuesto si queremos calcular una aproximación de (2.1.1) algo importante será que tan precisa será dicha aproximación. Para contestar esta pregunta haremos uso de otro clásico del cálculo como es la **Expansion de Taylor de una Función**.

Dada una función  $\psi(x)$  se dice ser analítica al rededor de  $x_0$  si existe una expansión de Taylor de  $\psi$  en la forma

$$\psi(x_0 + h) = \lim_{N \rightarrow \infty} T_{x_0}^{h,N} \psi = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^N \frac{D_x^k \psi(x_0)}{k!} h^k \quad (2.1.3)$$

Aquí llamamos a  $T_{x_0}^{h,N}$  el operador de Taylor de N-ésimo orden alrededor de  $x_0$  relativo a  $h$  o solo el Operador de Taylor, puede verse que si tomamos el primer y tercer término de (2.1.3) y luego sustraemos  $\psi(x_0)$  a ambos lados seguido de una multiplicación por  $1/h$  obtenemos

$$\frac{1}{h} (\psi(x_0 + h) - \psi(x_0)) \approx Ch \quad (2.1.5)$$

la expresión anterior nos dice que (2.1.2) tiene un orden de error  $h$  o donde  $\varepsilon$  Denota el error, en otras palabras el error en la aproximación de (2.1.1) usando (2.1.2) es casi igual a una constante  $C$  por  $h$ , donde  $C$  no responde de  $h$

Siguiendo el procedimiento anterior y varias expansiones de Taylor podemos encontrar aproximaciones de más alto orden para las derivadas, pero otra forma de conseguir esto es **Proyectar** el operador  $D$  sobre  $\Pi_n$ , donde  $\Pi_n$  es el espacio lineal de los polinomios de a lo sumo grado "n", utilizando esto y algunas propiedades de las Expansiones de Taylor obtenemos.

### Teorema 2.1

Si tenemos un conjunto de Números

$$X_n = \{x_k : (\forall k \in Z_0^n \subset Z_0^+) (x_k \in \Omega \subseteq \text{Dom}(\psi))\}$$

y un correspondiente conjunto de valores

$$\Psi_n = \{\psi_k : \psi_k = \psi(x_k), x_k \in X_n\}$$

Para una función específica  $\psi$  si esta función es analítica en  $\Omega$  y si podemos aproximarla en  $\Omega$  por un polinomio de la forma  $P_n[\psi](x)$  que satisfaga  $P_n[\psi](x_i) = \psi(x_i)$

Luego una fórmula de diferenciación que es exacta para tal polinomio también satisface

$$(\forall x \in X_n) (\varepsilon = O(h^n))$$

### Demostración

Sea

$$L_n^i(x) = \prod_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq i}} (x - x_k) \quad (2.1.1.1)$$

Y

$$\ell_n^i(x) = \frac{L_n^i(x)}{L_n^i(x_i)} \quad (2.1.1.2)$$

luego puede verse que

$$\ell_n^i(x) = \frac{L_n^i(x)}{L_n^i(x_i)} \quad (2.1.1.3)$$

al mismo tiempo si usamos las propiedades analíticas de  $\Psi$  y un poco de álgebra y calculo obtenemos en cada punto  $x_i$  de  $X_n$ .

$$\begin{aligned} l_{N \rightarrow \infty} T_{x_k}^{h,N}(\Psi - P_n[\Psi](x)) &= \\ &= l_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=n+1}^N \frac{D_x^k \Psi(x_i)}{k!} h^k \end{aligned} \quad (2.1.1.4)$$

si en esta expresión aplicamos  $D_x$  a los dos lados obtenemos

$$\begin{aligned} l_{N \rightarrow \infty} T_{x_i}^{h,N}(D_x \Psi - D_x P_n[\Psi](x)) &= l_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=n+1}^N \frac{D_x^k \Psi(x_i)}{k!} D_x h^k = \\ &= l_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=n+1}^N \frac{D_x^k \Psi(x_i)}{(k-1)!} h^{k-1} = l_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=n}^N \frac{D_x^k \Psi(x_i)}{k!} h^k \end{aligned} \quad (2.1.1.5)$$

De lo anterior se desprende que el error de esta aproximación para  $0 < h \ll 1$

Satisface

$$l_{N \rightarrow \infty} T_{x_i}^{h,N}(D_x \Psi - D_x P_n[\Psi](x)) \approx C_i h^n \quad (2.1.1.6)$$

Donde cada  $C_i$  no depende de  $h$  y esto concluye nuestra demostración. Para ordenes mayores de diferenciación el orden de la aproximación puede ser influenciado por la selección del conjunto  $X_n$  y el método de interpolación sin embargo para los llamados **valores centrales** el orden de error sigue un patrón como el mostrado en la anterior demostración.

Del teorema 2.1 vemos que un punto clave es encontrar una formula de diferenciación que sea exacta para los polinomios descritos en el teorema, un procedimiento que puede utilizarse con este fin es construir la llamada matriz de diferenciación que satisface.

$$D = [d_{i,j}]_{(n+1) \times (n+1)} \quad (2.1.6)$$

y

$$\Phi_n = D\Psi_n \quad (2.1.7)$$

donde

$$\Phi_n = \{ \phi_k : \phi_k = D_x P[\Psi](x_k), x_k \in X_n \} \quad (2.1.8)$$

**Teorema 2.2**

Para un polinomio dado  $P_n[\Psi](x)$  como descrito en el teorema 2.1 una matriz D que satisface (2.1.6) (2.1.7) tiene las siguientes entradas

$$d_{i,i} = \sum_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq i}} (x_i - x_k)^{-1}$$

$$d_{i,j} = \frac{L_n^i(x_i)}{L_n^j(x_i)(x_i - x_j)}$$

Donde  $L_n^i(x)$  fue definido en 2.1.1.1

**Demostración**

Dado

$$\ell_n^j(x) = \frac{L_n^j(x)}{L_n^j(x_j)}$$

podemos tomar el log a ambos lados de la expresión para obtener

$$\log(\ell_n^j(x)) = \sum_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq j}} \log(x - x_k) - \log(L_n^j(x_j))$$

si diferenciamos a ambos lados obtendremos luego de un poco de algebra

$$D_x \ell_n^j(x) = \ell_n^j(x) \left[ \sum_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq j}} \frac{1}{x - x_k} \right]$$

usando esto y considerando que

$$d_{i,j} = D_x \ell_n^j(x_i)$$

podemos ver que para  $i = j$

$$D_x \ell_n^j(x_j) = \ell_n^j(x_j) \left[ \sum_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq j}} \frac{1}{x_j - x_k} \right] = \sum_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq j}} \frac{1}{x_j - x_k}$$

y para  $i \neq j$

$$\begin{aligned} D_x \ell_n^j(x_i) &= \ell_n^j(x_i) \left[ \sum_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq j}} \frac{1}{x_i - x_k} \right] = \\ &= \frac{1}{L_n^j(x_j)} \left[ L_n^j(x_i) \sum_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq j}} \frac{1}{x_i - x_k} \right] = \\ &= \frac{1}{L_n^j(x_j)} \left[ \prod_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq i, j}} (x_i - x_k) \right] = \\ &= \frac{1}{L_n^j(x_j) (x_i - x_j)} \left[ (x_i - x_j) \prod_{\substack{0 \leq k \leq n \\ k \neq i, j}} (x_i - x_k) \right] = \\ &= \frac{1}{L_n^j(x_j) (x_i - x_j)} [L_n^j(x_i)] \end{aligned}$$

Esto concluye la demostración.

Si escogemos  $X_n$  de tal modo que

$$(\forall x_p \in X_n) (\forall x_m \in X_n) (m > p \Rightarrow x_m = x_p + (m - p)h) \quad (2.1.9)$$

donde

$$h = \frac{[\max(X_n) - \min(X_n)]}{n} \quad (2.1.10)$$

luego el método basado en el **Teorema 2.2** da como resultado las así llamadas fórmulas de diferencia finita.

Un importante ejemplo de esto es la aproximación de diferencia central a tres puntos de la primera derivada que puede obtenerse de la siguiente forma

sea  $X_x = \{-h, 0, h\}$  para una  $h \in R^+$  dada.

luego

$$\Phi_n^1 = D_1 \Psi_n \quad (2.1.11)$$

Aquí  $\Phi_n^1$  y  $D_1$  denotan la segunda componente del vector  $\Phi_n$  y el segundo renglón de la matriz  $D$  respectivamente en (2.1.11)  $D_1$  está dado por

$$D_1 = \frac{1}{h} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 2 & & 2 \end{bmatrix} \quad (2.1.12)$$

Examinando (2.1.12) podemos ver si escogemos  $h = 1$  para  $X_n$  obtendremos una fórmula igual a (2.1.12) sin el factor  $1/h$  esto nos lleva a pensar que si obtenemos una fórmula de esta manera podremos modificarla para un valor particular de  $h$  con solo multiplicar la respectiva matriz de diferenciación por  $1/h$ .

La expresión obtenida en (2.1.12) es una fórmula de 2<sup>do</sup> orden, y será de mucha utilidad en la siguiente sección.

## 2. Representación Discreta de los Operadores div y grad en Rejillas Escalonadas

Una rejilla escalonada es un conjunto de puntos que puede interpretarse de la siguiente forma

Dados

$$X_n^I = \{x_i : x_i \in R; 0 < i, p < N; i, p \in Z_0^+; x_{i+p} > x_i\} \quad (2.2.1)$$

$$X_n^p = \{x_{i+1/2} : x_{i+1/2} \in R; 0 \leq i, p < N; i, p \in Z_0^+; x_{i+p+1/2} > x_{i+1/2}\} \quad (2.2.2)$$

y

$$X_n^F = \{x_i : x_i \in R, i = \{0, N\}\} \quad (2.2.3)$$

En (2.2.1) y (2.2.2) es fijado solo para establecer un orden e  $i$  varía entre 0 y  $N$  luego una rejilla escalonada es el conjunto

$$X_n^s = X_n^I \cup X_n^p \cup X_n^F \quad (2.2.4)$$

Antes de definir las representaciones discretas de los operadores **div** y **grad**, daremos un vistazo a una importante relación entre estos dos operadores.

Tomemos un par de funciones

$$\psi : R^n \supset \Omega \mapsto R \quad (2.2.5)$$

$$\Psi : R^n \supset \Omega \mapsto R^n \quad (2.2.6)$$

que satisfacen

$$\int_{\partial\Omega} \psi \Psi \cdot n = 0 \quad (2.2.7)$$

Donde  $\partial\Omega$  es una superficie cerrada dada, podemos ver que

$$\nabla \cdot [\psi \Psi] = \nabla \psi \cdot \Psi + \psi \nabla \cdot \Psi \quad (2.2.8)$$

Y si ahora integramos (2.2.8) sobre la región  $\Omega$  que está encerrada por  $\partial\Omega$ , podemos aplicar el **teorema de la divergencia** y obtener

$$\int_{\Omega} \nabla \psi \cdot \Psi + \int_{\Omega} \psi \nabla \cdot \Psi = \int_{\partial\Omega} \psi \Psi \cdot n \quad (2.2.9)$$

Luego aplicando (2.2.7) obtenemos el siguiente resultado

$$\int_{\Omega} \nabla \psi \cdot \Psi = - \int_{\Omega} \psi \nabla \cdot \Psi \quad (2.2.10)$$

Si definimos dos productos internos equivalentes en la forma

$$\langle (\cdot) | (\cdot) \rangle_{CV} = \int_{\Omega} (\cdot) \bullet (\cdot) \quad \langle (\cdot) | (\cdot) \rangle_{CE} = \int_{\Omega} (\cdot) (\cdot) \quad (2.2.11)$$

luego (2.2.10) puede reescribirse en la forma

$$\langle \nabla \Psi | \Psi \rangle_{CV} = -\langle \Psi | \nabla \cdot \Psi \rangle_{CE} \quad (2.2.12)$$

lo cual puede interpretarse como

$$grad = -div^* \quad (2.2.12)$$

bajo el producto interno definido en (2.2.11). Para una descripción detallada de estas relaciones y la correspondiente representación mimética de los productos internos y operadores ver [1].

Usando  $X_n^s$  y los conjuntos

$$\Psi_n^{CV} = \{ \Psi_{i+1/2} : \Psi_{i+1/2} = \Psi(x_{i+1/2}), x_{i+1/2} \in X_n^p \} \quad (2.2.13)$$

$$\Psi_n^{CE} = \{ \psi_i : \psi_i = \psi(x_i), x_i \in X_n^l \} \quad (2.2.14)$$

Para un operador de incremento dado  $E_j$  definido por

$$E_j \phi_k = \phi_{k+j} \quad (2.2.15)$$

podemos definir el siguiente operador de diferencia

$$\delta_j = E_j - E_{-j} \quad (2.2.16)$$

Haciendo uso de (2.2.7) y pensando en Condiciones de Contorno de Dirichlet podemos definir el operador  $D$  con

$$D : \Psi_n^{CV} \mapsto \Psi_n^{CE} \quad (2.2.17)$$

en la forma

$$D_k \Psi = \frac{\delta_{1/2} \Psi_k}{\delta_{1/2} x_k}, 0 < k < N \quad (2.2.18)$$

a la vez podemos definir  $G$  tal que

$$G: \Psi_n^{CE} \mapsto \Psi_n^{CV} \quad (2.2.19)$$

con

$$G_{k+1/2} \Psi = \frac{\delta_{1/2} \Psi_{k+1/2}}{\delta_{1/2} x_{k+1/2}}, 1 \leq k \leq N-2 \quad (2.2.20.a)$$

y

$$G_{1/2} \Psi = \frac{\Psi_1}{\delta_{1/2} x_{1/2}} \quad G_{N-1/2} \Psi = -\frac{\Psi_{N-1}}{\delta_{1/2} x_{N-1/2}} \quad (2.2.20.b)$$

si llamamos  $D$  y  $G$  las representaciones matriciales de los operadores **div** y **grad** respectivamente puede verse que

$$G = [g_{ij}]_{N \times (N-1)} = [d_{ji}]_{(N-1) \times N} = -D^* \quad (2.2.21)$$

Como se esperaba de (2.2.12)

Si queremos llevar los resultados anteriores a  $R^n$ , podemos hacerlo utilizando una extensión de ellos a rejillas de producto tensorial y utilizando métodos de mapeo cuando sea necesario, veremos a continuación como llevar a cabo lo primero, los métodos de mapeo son herramientas hermosas pero no serán discutidos aquí.

### 3. Representación Discreta de Operadores Diferenciales en dimensiones superiores usando rejillas de producto tensorial

Definiremos una rejilla de producto tensorial de dimensión “N” representada por  $X_n^N$  como una rejilla que puede ser obtenida como el producto cartesiano de “N” rejillas 1-dimensionales  $1 \leq k \leq N$ , esto puede escribirse en la forma

$$X_{n_N}^N = \times_{1 \leq k \leq N} X_{n_k, k} \quad (2.3.1)$$

Ahora introduciremos las funciones de índice de la forma

$$i_k^J = i_k(J) \quad 1 \leq k \leq N, 1 \leq J \leq n_N \quad (2.3.2)$$

Donde

$$n_N = \prod_{1 \leq k \leq N} n_k \quad (2.3.3)$$

si las seleccionamos de tal modo que satisfagan

$$i_1(J) = 1 + \text{mod} \left( \text{floor} \left( \frac{J-1}{n_2} \right), n_1 \right) \quad (2.3.4.a)$$

$$i_2(J) = 1 + \text{mod}(J-1, n_2) \quad (2.3.4.b)$$

$$i_k(J) = 1 + \text{mod} \left( \text{floor} \left( \frac{J-1}{\prod_{1 \leq j \leq k-1} n_j} \right), n_k \right), 3 \leq k \leq N \quad (2.3.4.c)$$

Nuestra elección de las funciones de índice se hizo en base al criterio de numeración de nodos utilizado, en este trabajo se utilizó uno bastante estándar.

Si queremos aproximar una función  $\Psi$  tal que

$$\Psi : R^N \supset \Omega \mapsto R \quad (2.3.5)$$

esto puede hacerse utilizando los valores

$$\Psi_{n_N}^N = \{ \Psi_i : \Psi_i = \Psi(x^i), x^i \in X_{n_N}^N \subset \Omega \} \quad (2.3.6)$$

y considerando

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{N-1}, x_N) \in \Omega \subset R^N \quad (2.3.7)$$

de la siguiente forma

Definamos un polinomio

$$P[\Psi](x) = \sum_{1 \leq J \leq n_N} \Psi_J \otimes_{k=N}^3 \rho_{n_k}^{i_k^J}(x_k) \otimes \rho_{n_1}^{i_1^J}(x_1) \otimes \rho_{n_2}^{i_2^J}(x_2) \quad (2.3.8)$$

en la expresión anterior el producto  $\otimes$  puede interpretarse como

$$\otimes_{k=m}^n f_k(x_k) = \prod_{k=m}^n f_k(x_k) \quad (2.3.9)$$

el polinomio (2.2.8) satisfará

$$P[\Psi](x^i) = \Psi_i, x^i \in X_{n_N}^N \tag{2.3.10}$$

Si ahora tenemos un operador diferencial bien definido en

$$F = (R, G, +, \cdot) \tag{2.3.11.a}$$

$$G = \{g : (g : R \supset \Omega_1 \mapsto R)\} \tag{2.3.11.b}$$

luego puede verse que

$$\begin{aligned} D_{x_i} \bigotimes_{k=m}^n f_k(x_k) &= \prod_{k=m}^{i-1} f_k(x_k) D_{x_i} f_i(x_i) \prod_{k=i+1}^n f_k(x_k) = \\ &= \bigotimes_{k=m}^{i-1} f_k(x_k) \otimes D_{x_i} f_i(x_i) \bigotimes_{k=i+1}^n f_k(x_k) \end{aligned} \tag{2.3.12}$$

Considerando  $D$  como la representación matricial de un operador diferencial dado y al mismo tiempo considerando que aplicar  $D_{x_i}$  a  $P[\Psi](x)$  sobre el conjunto de líneas.

$$x_i^l = \{x : (x_i \in X_{n_i,i}, x_j = x_j^f \in X_{n_j,j}, i \neq j)\} \tag{2.3.13}$$

donde los  $x_j$  están fijos mientras  $x_i$  varía en  $X_{n_i,i}$ , puede interpretarse, con el respectivo criterio de numeración, en la forma

$$D_{x_i} P[\Psi](x_i^l) = \left[ \bigotimes_{k=N}^{i-1} I_k \otimes D_i \bigotimes_{k=i+1}^3 I_k \otimes I_1 \otimes I_2 \right] \Psi_{n_N}^N \tag{2.3.14.a}$$

$$D_{x_1} P[\Psi](x_1^l) = \left[ \bigotimes_{k=N}^3 I_k \otimes D_1 \otimes I_2 \right] \Psi_{n_N}^N \tag{2.3.14.b}$$

$$D_{x_2} P[\Psi](x_2^l) = \left[ \bigotimes_{k=N}^3 I_k \otimes I_1 \otimes D_2 \right] \Psi_{n_N}^N \tag{2.3.14.c}$$

en la última expresión los entes  $I_k$  pueden ser vistos como matrices identidad de  $k \times k$  y se interpretan como la representación de los multiplicadores  $\ell_{n_k}^k(x_k)$  en  $\Psi_{n_N}^N$ , como consecuencia  $\otimes$  puede interpretarse como producto tensorial de Kronecker. Este método puede aplicarse a las representaciones obtenidas en (2.2) considerando (2.3.8) construido con un método de de interpolación por partes de 3-er orden.

#### 4. Discretización de Operadores Diferenciales Espaciales y Valores en la Frontera

Consideremos una función  $\psi : R^N \supset \Omega \mapsto R$  que satisface

$$\nabla \circ (\kappa \nabla \psi) + \lambda \psi = f(x, \psi) \quad x \in \Omega \subset R^N \quad (2.4.1.a)$$

$$B(\psi) = \psi_b, x \in \partial\Omega \quad (2.4.1.b)$$

donde

$$\kappa : R^N \mapsto R^{N \times N} \quad (2.4.1.c)$$

ahora consideremos una rejilla escalonada de producto tensorial *N-dimensional*  $X_{n_N}^{N,s}$  que sigue la definición (2.3.1) donde cada rejilla *1-dimensional* es escalonada, los operadores discretos  $D$  y  $G$  que preservarán las condiciones establecidas en (2.2) y cuya representación general en rejillas escalonadas *N-dimensionales* es como sigue

$$D : \Psi_{n_N}^{N,CV} \mapsto \Psi_{n_N}^{N,CE} \quad (2.4.2.a)$$

$$G : \Psi_{n_N}^{N,CE} \mapsto \Psi_{n_N}^{N,CV} \quad (2.4.2.b)$$

Los conjuntos  $\Psi_{n_N}^{N,CE}$  y  $\Psi_{n_N}^{N,CV}$ , para un determinado par de funciones  $\psi : R^N \supset \Omega \mapsto R$  y  $\Psi : R^N \supset \Omega \mapsto R^N$ , están definidos por

$$\Psi_{n_N}^{N,CE} = \left\{ \Psi_J : \Psi_J = \psi(x^J) x^J \in X_{n_N}^{N,I} \right\} \quad (2.4.3.a)$$

$$\Psi_{n_N}^{N,CV} = \left\{ \Psi_{J+1/2} : \Psi_{J+1/2} = \psi(x^{J+1/2}) x^J \in X_{n_N}^{N,p} \right\} \quad (2.4.3.b)$$

De (2.4.2) podemos ver que el sistema (2.4.1) puede representarse como

$$M\Psi = F(x, \Psi) \quad (2.4.6)$$

donde

$$M \equiv DKG + \Lambda \quad (2.4.7)$$

y

$$F = f + \psi_b \quad (2.4.8)$$

$M$  y  $F$  son entes algebraicos tales que

$$M = [m_{ij}]_{n_N \times n_N} \in R^{n_N \times n_N} \quad \text{and} \quad F = [f_{ij}]_{n_N \times 1} \in R^{n_N} \quad (2.4.9)$$

Para una función dada  $f$  consideraremos un error de aproximación debido a la discretización de (2.4.1) medido por la norma- $L^2$  en la forma

$$e_h = \left( \int_{\Omega} (f(x, \psi) - M_h \psi)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.4.10)$$

aquí  $M_h$  denota la representación matricial (2.4.7) en una rejilla escalonada  $N$ -dimensional de tamaño  $h$ .

Siguiendo un análisis similar al presentado en (2.1)

podemos ver que nuestra discretización deberá presentar una aproximación de segundo orden de (2.4.1), esto conduce a que bajo la norma definida en (2.4.10) tendríamos que esperar segundo orden de convergencia, esto puede confirmarse con un simple experimento

Tomemos

$$\psi(x, y) = \sin(\pi x) \sin(\pi y) \quad (2.4.11)$$

$$f(x, y, \psi) = -\pi^2 \psi \quad (2.4.12)$$

$$\kappa(x, y) = I \quad \text{y} \quad \lambda(x, y) = \pi^2 \quad (2.4.13)$$

considerando  $\Omega = ]0,1[ \times ]0,1[$

En este y todos los experimentos restantes consideraremos rejillas de producto tensorial que satisfagan las siguientes condiciones

$$X_{n_N}^{N,s} = \times_{1 \leq k \leq N} X_{n_k}^s \quad (2.4.14.a)$$

$$X_{n_k}^I = \{x_i : x_i = x_0 + ih, 0 < i < N\} \quad (2.4.14.b)$$

$$X_{n_k}^P = \{x_{i+1/2} : x_{i+1/2} = x_0 + (i + 1/2)h, 0 \leq i < N\} \quad (2.4.14.c)$$

$$X_{n_k}^F = \{x_0, x_0 + n_k h\} \quad (2.4.14.d)$$

Luego de construir ciertas discretizaciones de (2.4.1) para varios valores de "h" obtenemos los siguientes resultados

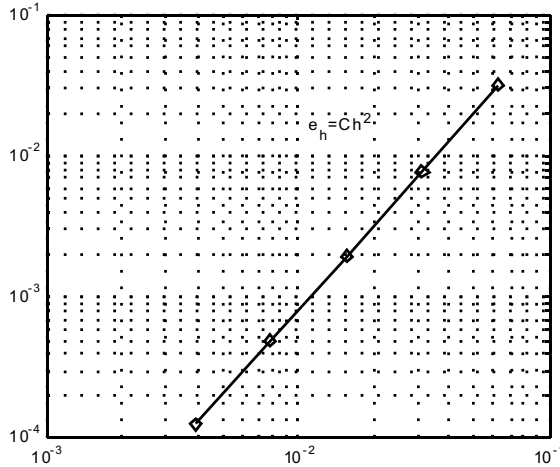


Fig 2.4.1 Convergence rate for data in (2.4.11-13)

**MODELO DEPENDIENTE DEL TIEMPO**

Si revisamos y reescribimos la ecuación (1.5-7) en la forma

$$\Psi_{tt} = [\nabla \circ [k\nabla]]\Psi + \Lambda\Psi, (x, t) \in \Omega \times R_0^+ \quad (3.1)$$

consideremos ahora las funciones discretas definidas en la forma

$$\Psi_{n_N, t}^{N, s} = \{ \Psi^{J, t} : \Psi^{J, t} = \Psi(x^J, t) x^J \in X_{n_N}^{N, s} \subseteq \Omega, t = t_f \in R_0^+ \} \quad (3.2)$$

En la relación anterior estamos considerando que para vectores específicos pertenecientes a la rejilla  $X_{n_N}^{N, s}$  los valores de las funciones discretas varían también con respecto a  $x^J$  que toma valores en un intervalo prescrito en  $R_0^+$ , bajo esta consideración podemos ver que el lado derecho de (3.1) combinado con las condiciones (1.7) puede ser discretizado para un determinado valor  $h$  en la forma siguiente

$$[[\nabla \circ [k\nabla]] + \Lambda] \approx M_h \equiv [DKG + \Lambda] \quad (3.3)$$

Utilizando la expresión anterior podemos ahora expresar (3.1) en la forma

$$\Psi''_{tt} = M_h \Psi^{J,t} \tag{3.4}$$

Como mencionamos en la introducción podemos usar la función  $\Phi^{J,t}$  relacionada con  $\Psi^{J,t}$  en la forma ahí mostrada, esto lleva a que (3.4) se reescriba como

$$\begin{bmatrix} \Psi^{J,t} \\ \Phi^{J,t} \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} 0 & I \\ M_h & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi^{J,t} \\ \Phi^{J,t} \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

Como dijimos en secciones anteriores podemos resolver (3.5) como un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden en el tiempo sujeto a las condiciones iniciales

$$\begin{bmatrix} \Psi^{J,0} \\ \Phi^{J,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_0(x^J) \\ \Psi_1(x^J) \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

Existen varias maneras de hacerlo, una de ellas es usar un esquema adaptativo de integración temporal como Runge Kutta de 4-to orden, los métodos de Runge Kutta son bien conocidos en la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias y discusiones acerca de estabilidad y temas relacionados pueden encontrarse en [2]. En nuestro estudio hemos utilizado métodos como el mencionado anteriormente, pero concluyendo esta sección discutiremos la estabilidad de nuestro método desde una perspectiva espectral.

Para analizar la estabilidad espectral de nuestro método consideraremos el sistema (3.5) y procederemos a estimar una solución explícita en función del tiempo en la siguiente forma

Expresemos (3.5) como

$$Y_t = N_h Y \tag{3.7.a}$$

$$Y(0) = Y_0 \tag{3.7.b}$$

donde

$$Y = \begin{bmatrix} \Psi^{J,t} \\ \Phi^{J,t} \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad N_h = \begin{bmatrix} 0 & I \\ M_h & 0 \end{bmatrix} \tag{3.8}$$

Es importante notar que ahora consideramos  $Y$  como una función que sólo varía en

el tiempo, de la teoría de ecuaciones diferenciales ordinarias tenemos que (3.7) puede resolverse en la forma

$$Y(t) = e^{N_h t} Y_0 \quad (3.9)$$

utilizando (3.9) podemos ver que si estamos interesados en el valor correspondiente a  $Y$  para un valor específico  $t = t_j$  relativamente lejano a  $t = 0$  o en una sucesión de valores  $\{t_n\}$  correspondiente a la secuencia de números  $\{t_n\}$  que están distribuidos arbitrariamente en un intervalo temporal, este procedimiento puede ser de mucha utilidad para estimar la estabilidad numérica del método

Podemos ver que la forma matricial  $M = [m_{ij}]_{n \times n}$  puede expresarse en la forma

$$MV = V\Gamma \quad (3.10)$$

donde  $V = [v_{ij}]_{n \times n}$  es una matriz densa y  $\Gamma = [\gamma_{ij}]_{n \times n}$  es diagonal, puede verse que si  $V$  es invertible

$$e^{tM} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^k M^k}{k!} = V e^{t\Gamma} V^{-1} \quad (3.11)$$

Aquí consideramos que cada columna  $V^i = [v_{ij}]_{n \times 1}$  de  $V$  tiene la propiedad

$$M V^i = \gamma_{ii} V^i \quad (3.12)$$

En otras palabras la  $i$ -ésima columna de  $V$  es un eigenvector de  $M$  correspondiente al eigenvalor  $\gamma_i$  que es la  $ii$ -entrada de la matriz  $\Gamma$ .

De (3.11) obtenemos que  $M$  si satisface (3.10) luego

$$Y(t) = V e^{t\Gamma} V^{-1} Y_0 \quad (3.13)$$

Esto significa que necesitamos encontrar el espectro de  $M$  que es el conjunto de números

$$S(M) = \{ \gamma_i : |\gamma_i I - M| = 0, 1 \leq i \leq n \} \quad (3.14)$$

Y la correspondiente base espectral que sería

$$S_B(M) = \{ v_i \in R^n : M v_i = \gamma_i v_i, 0 \leq i \leq n \} \quad (3.15)$$

Existen varios métodos para llevar a cabo esta operación pero antes de utilizar cualquiera de ellos vale la pena considerar lo siguiente.

Si queremos resolver el problema de eigenvalores

$$N_h V = \gamma V \quad (3.16)$$

puede verse que (3.16) puede reescribirse como

$$\begin{bmatrix} 0 & I \\ M_h & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \gamma \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

podemos comparar ambos lados de esta ecuación obteniendo

$$v = \gamma u \quad (3.18.a)$$

$$M_h u = \gamma v \quad (3.18.b)$$

sustituyendo (3.18.a) en (3.18.b) obtenemos

$$M_h u = \gamma (\gamma u) = \gamma^2 u = \alpha u \quad (3.19)$$

Lo cual nos permite resolver (3.16) con la mitad del esfuerzo computacional en especial cuando  $N_h$  es considerablemente grande, en este trabajo nos concentraremos en el caso en que es simétrico dado que será cuando  $M_h$  será simétrico también, podemos ahora resolver (3.19) y para cada eigenvalor  $\alpha_i$  con eigenvector correspondiente  $u_i$  podremos calcular los eigenvalores

$$\gamma_{i,i+1} = \pm \sqrt{\alpha_i} \quad i = 1, 3, 5, \dots, n/2 \quad (3.20)$$

y eigenvectores

$$V_{i,i+1} = \begin{bmatrix} u_i \\ \gamma_{i,i+1} u_i \end{bmatrix} \quad i = 1, 3, 5, \dots, n/2 \quad (3.21)$$

debido a las propiedades de  $M_h$  y la definición de  $\gamma_{i,i+1}$  tendremos que cada par de estos valores satisfará

$$\gamma_{i,i+1} \in \mathfrak{I} \quad (3.22)$$

de donde se desprende que

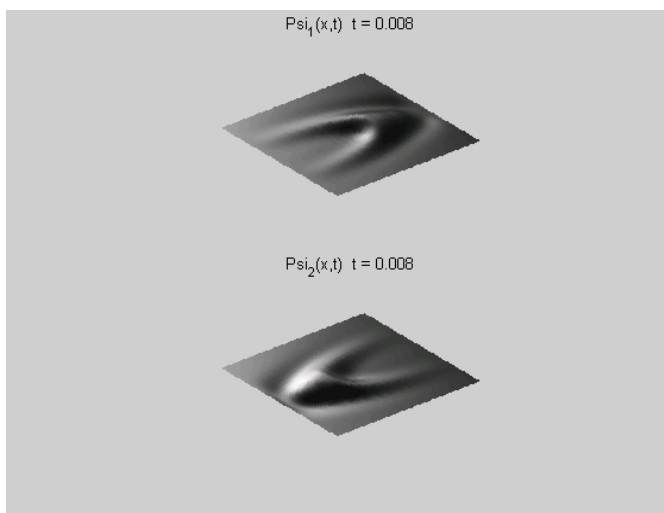
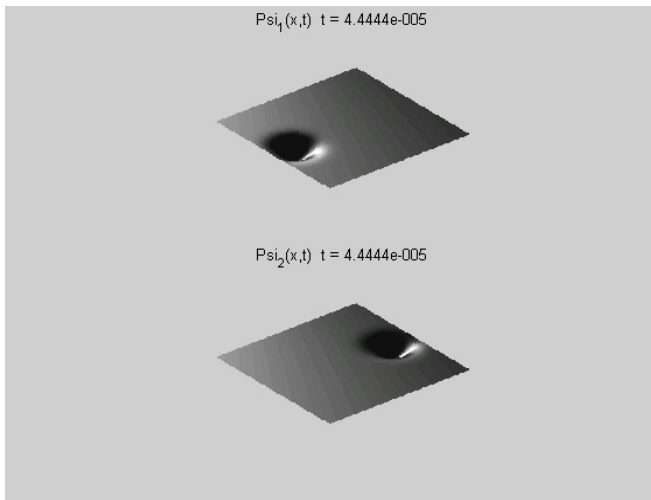


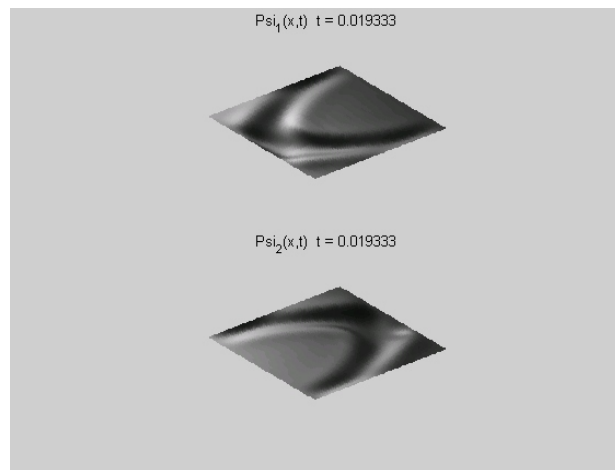
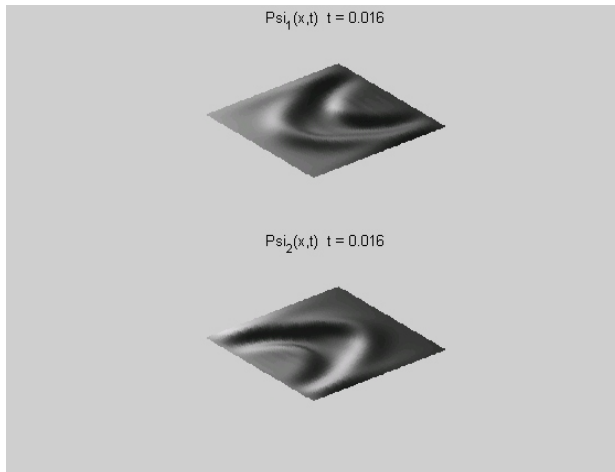
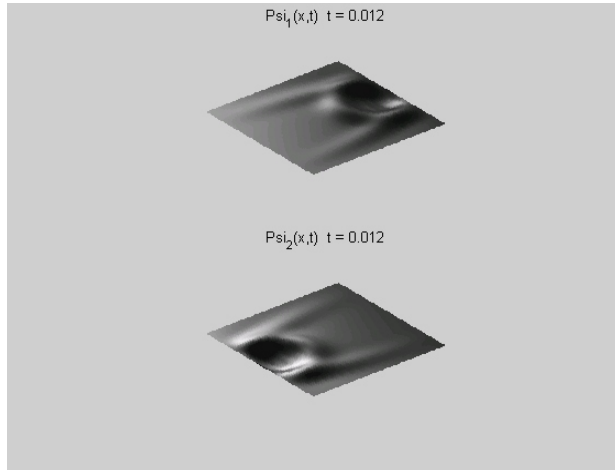
$$\psi^1(x,t) = 0, x \in \partial\Omega, t \geq 0$$

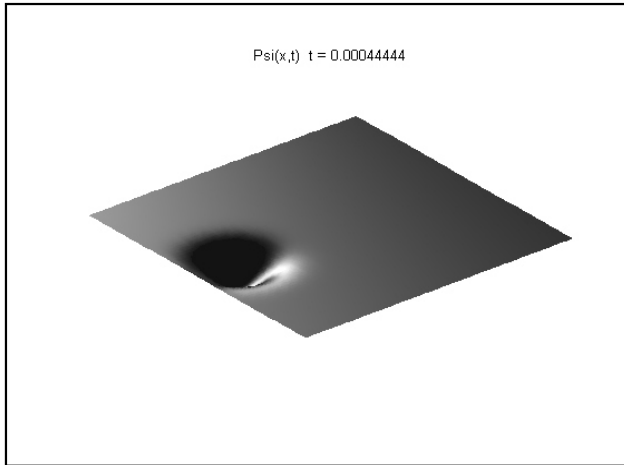
$$\psi^1(x,0) = -\frac{1}{10} \alpha(x,y) e^{-100((x-1.5)^2 + (y-.5)^2)} \quad \psi_t^1(x,0) = 0$$

$$\psi^2(x,0) = -\frac{1}{10} \alpha(x,y) e^{-100((x-.85)^2 + (y-.5)^2)} \quad \psi_t^2(x,0) = 0 \quad x \in \Omega \text{ con}$$

$$\alpha(x,y) = 0, (x,y) \in \partial\Omega$$







## 2. Onda en un Medio Heterogéneo No-Isotrópico Caso 1

$$\psi : (\mathbb{R}^2 \supset \Omega) \times \mathbb{R}_0^+ \mapsto \mathbb{R}, \Omega = ]0,1[ \times ]0,1[$$

$$R_d = [.5, .75] \times [.25, .75]$$

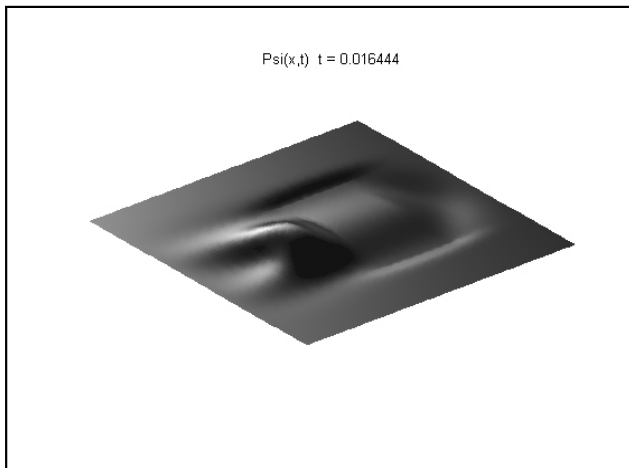
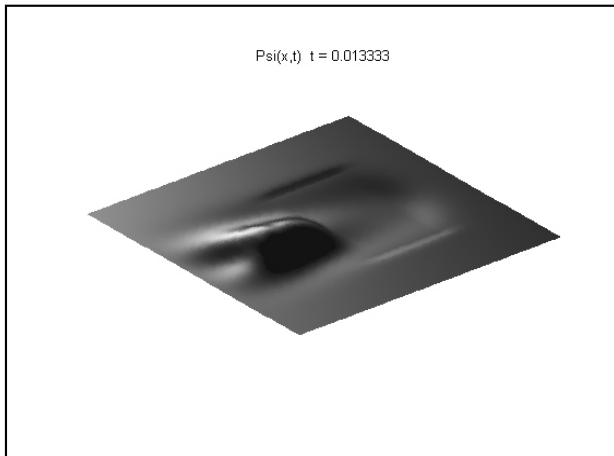
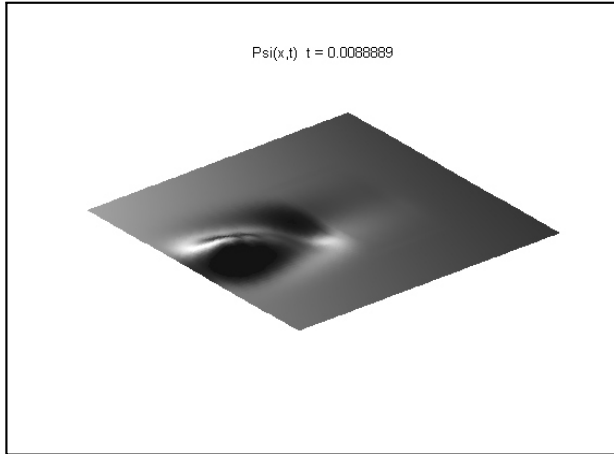
$$\Lambda = 0$$

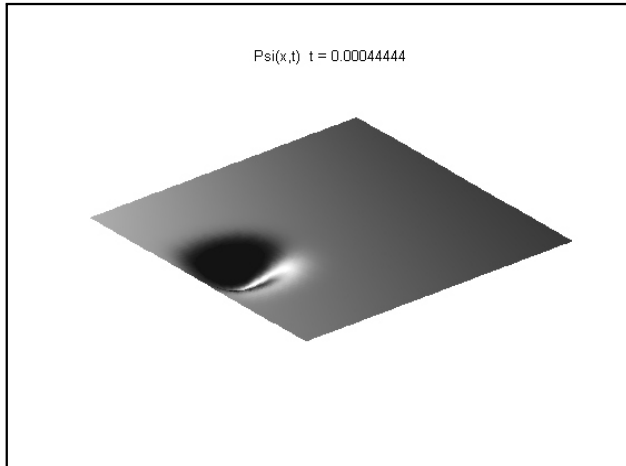
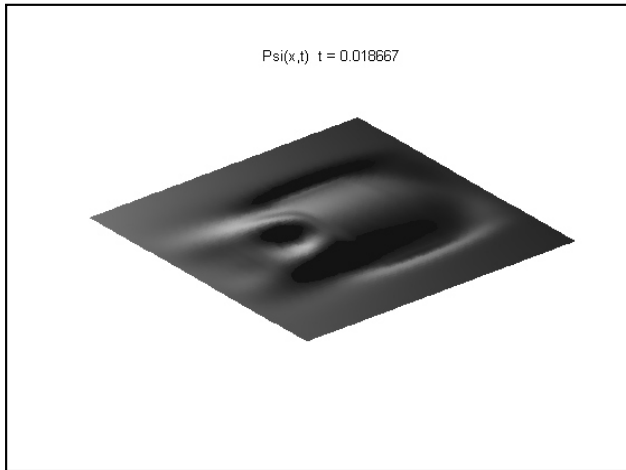
$$\kappa = \lambda \begin{bmatrix} 10^3 & \\ & 10^2 \end{bmatrix} \quad \lambda = \begin{cases} 10, & x \in R_d \\ 1, & x \in \Omega - R_d \end{cases}$$

$$\psi(x, t) = 0, x \in \partial\Omega, t \geq 0$$

$$\psi(x, 0) = \frac{-1}{10} \alpha(x, y) e^{-100((x-.15)^2 + (y-.5)^2)} \quad \psi_t(x, 0) = 0 \quad x \in \Omega \quad \text{con}$$

$$\alpha(x, y) = 0, (x, y) \in \partial\Omega$$





### 3. Onda en un Medio Heterogéneo No-Isotrópico Caso 2

$$\psi : (\mathbb{R}^2 \supset \Omega) \times \mathbb{R}_0^+ \mapsto \mathbb{R}, \Omega = ]0,1[ \times ]0,1[$$

$$R_d = [5,75] \times [25,75]$$

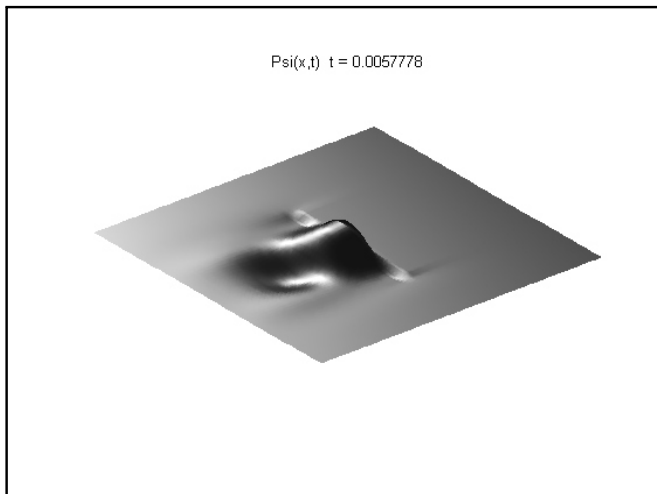
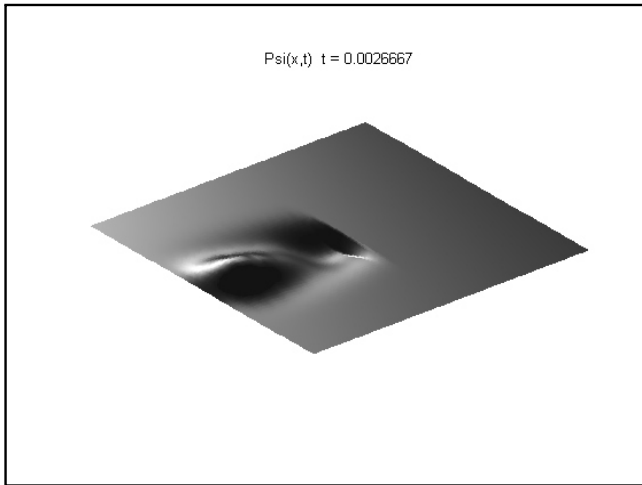
$$\Lambda = 0$$

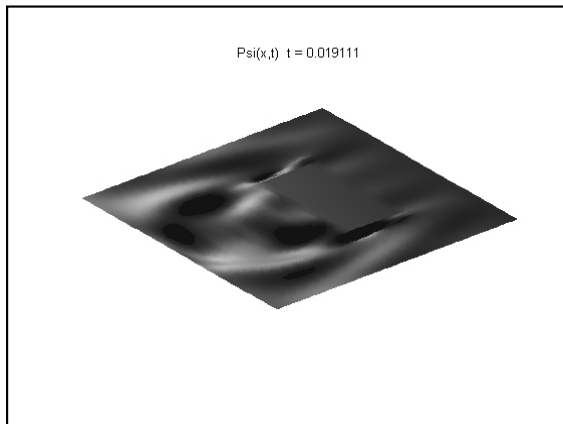
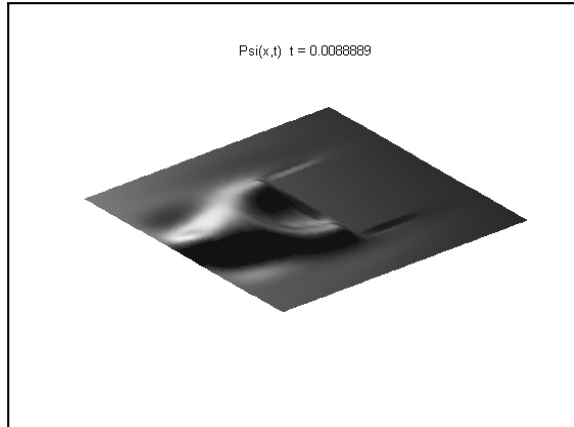
$$\kappa = \begin{bmatrix} 1 & \\ & 1 \end{bmatrix}, x \in R_d \quad \kappa = \begin{bmatrix} 10^4 & \\ & 10^3 \end{bmatrix}, x \in \Omega - R_d$$

$$\psi(x, t) = 0, x \in \partial\Omega, t \geq 0$$

$$\psi(x, 0) = \frac{-1}{10} \alpha(x, y) e^{-100((x-.15)^2 + (y-.5)^2)} \quad \psi_t(x, 0) = 0 \quad x \in \Omega \quad \text{con}$$

$$\alpha(x, y) = 0, (x, y) \in \partial\Omega$$





#### 4. Razones de Convergencia

Las razones de convergencia de los experimentos anteriores con respecto a un tamaño de malla  $h$  para un  $t$  fijo son mostrados en la siguiente tabla, las razones son calculadas bajo la *norma-  $L^2$* .

**Table 4.3 Razones de Convergencia**

Número de Experimento	Razón de Convergencia
4.1	$p_1 = 1.88655438523349$
4.1	$p_2 = 1.88655504596682$
4.1	$p = 1.52397448144873$
4.1	$p = 1.69461294711186$

**CONCLUSIONES**

El método aquí presentado puede ser una simple pero muy útil herramienta para el análisis de movimiento ondulatorio en medios heterogéneos no-isotrópicos con un orden de precisión que dependerá de la aproximación de las derivadas espaciales, la precisión puede ser incrementada siguiendo las ideas aquí presentadas.

**BIBLIOGRAFÍA**

J. Hyman, M. Shashkov and S. Steinberg, The Numerical Solution of Diffusion Problems in Strongly Heterogeneous Non-isotropic Materials, (1996).  
 L. N. Trefethen, Differential Equations Hand Book, (1994).  
 S. Steinberg, A Discrete Calculus with Applications to High-Order Discretizations to Boundary-Value Problems. (Marzo 17, 2004).





**NOTAS  
INFORMATIVAS**



## **Criterios para la publicación en la Revista Ciencia y Tecnología**

De los requisitos generales:

1. Doble espacio en todo el artículo, letra Arial Narrow, tamaño 12.
2. Inicie cada sección o componente del artículo después de donde terminó el anterior.
3. El artículo debe contener como mínimo:
  - Página del título
  - Resumen y palabras clave (en español e Inglés)
  - Texto
  - Agradecimientos académicos y técnicos
  - Referencias bibliográficas
  - Tablas (en páginas por separado) y leyendas.
4. La estructura del artículo y el peso porcentual de sus componentes serán los siguientes:
  - Título y autores en una página
  - Resumen y palabras clave en una página
  - Introducción 5% - 10%
  - Métodos y técnicas 5% - 10%
  - Análisis o Desarrollo del tema 70% (dividirlo en tres o cuatro capítulos)
  - Conclusiones 5% - 10%
  - Bibliografía 5%
5. La extensión total de los artículo tendrá un máximo de 17 páginas, a doble espacio.
6. Tamaño de ilustraciones, no debe superar las 4´x 5´pulg.
7. Incluya las autorizaciones para la reproducción de material anteriormente publicado o para la utilización de ilustraciones que puedan identificar a personas.
8. Adjunte la cesión de los derechos de autor y formularios pertinentes.
9. El texto del artículo se mecanografiará o imprimirá en papel blanco (8,5´x 11 pulgadas), con márgenes de 2 cm., a cada lado (superior, inferior, derecho e izquierdo). El papel se escribirá a una sola cara.
10. Las páginas se numeran consecutivamente comenzando por el título. El número de página de ubicará en el ángulo inferior derecho de cada página.
11. La copia en soporte electrónico (en disquete, ship o correo electrónico); debe tener las siguientes consideraciones:
  - Cerciorarse de que se ha incluido una versión del manuscrito en el disquete.
  - Incluir en el disquete solamente la versión última del manuscrito.
  - Especificar claramente el nombre del archivo.

- Etiquetar el disquete con el formato y nombre del fichero.
- Facilitar la información sobre el software y hardware utilizado.

De los requisitos del Artículo:

**1. La página del título contendrá:**

- El título del artículo, que debe ser conciso pero informativo. Su objeto es dar a conocer al lector el contenido esencial del artículo. No debe sobrecargarse con información. Debe ser corto (no exceder de 15 palabras).
- El nombre de cada uno de los autores, acompañados de su grado académico más alto y su afiliación institucional.
- El nombre del departamento o departamentos e institución o instituciones a los que se debe atribuir el trabajo.
- El nombre, email, teléfono o extensión (si es UNAH) y la dirección del autor responsable de la correspondencia.
- El nombre y la dirección del autor al que pueden solicitarse separatas, o aviso de que los autores no las proporcionarán.

**2. Autoría**, para concederte a alguien el crédito de autor, hay que basarse únicamente en su contribución esencial en lo que se refiere a:

- a. La concepción y el diseño del estudio, recogida de los datos, o el análisis y la interpretación de los mismos;
- b. La redacción del artículo o la revisión crítica de una parte sustancial de su contenido intelectual; y
- c. La aprobación final de la versión que será publicada.

Los requisitos anteriores tendrán que cumplirse simultáneamente. La participación exclusivamente en la obtención de fondos o en la recogida de datos o la supervisión general del grupo de investigación no justifica la autoría.

**3. Resumen y Palabras Clave**, la segunda página incluirá un resumen (entre las 150 y 250). En él se indicarán los objetivos del estudio, los procedimientos básicos (la selección de los sujetos de estudio o de los animales de laboratorio, los métodos de observación y analíticos), los resultados más destacados (mediante la presentación de datos concretos y, de ser posible, de su significación estadística), y las principales conclusiones. Se hará hincapié en aquellos aspectos del estudio o de las observaciones que resulten más novedosos o de mayor importancia. Tras el resumen los autores deberán presentar e identificar como tales, de 3 a 10 palabras clave que facilita el indizado del artículo y se publicarán junto con el resumen (versión en español e inglés de ambos).

**4. Introducción.** Se indicará el propósito del artículo y se realizará de forma resumida una justificación del estudio. En esta sección del artículo, únicamente, se incluirán las referencias bibliográficas estrictamente necesarias y no se incluirán datos o conclusiones del trabajo. La introducción debe explicar la finalidad del artículo. Los autores deben aclarar qué partes del artículo representan contribuciones propias y cuales corresponden a aportes de otros investigadores.

**5. Método.** Puede organizarse en cinco áreas:

- a. Diseño: se describe el diseño del experimento (aleatorio, controlado, casos y controles, ensayo clínico, prospectivo, etc.,)
- b. Población sobre la que se ha hecho el estudio. Describe el marco de la muestra y cómo se ha hecho su selección.
- c. Entorno: indica dónde se ha hecho el estudio (escuela, comunidades, hospitales, campos agrícolas, etc.,)
- d. Intervenciones: se describen las técnicas, tratamientos (utilizar nombres genéricos siempre), mediciones y unidades, pruebas piloto, aparatos y tecnología, etc.)
- e. Análisis estadístico: señala los métodos estadísticos utilizados y cómo se han analizados los datos.

Describa con claridad la forma como fueron seleccionados los sujetos sometidos a observación o participantes en los experimentos (pacientes o animales de laboratorio, también los controles). Indique la edad, sexo y otras características destacadas de los sujetos. Dado que en las investigaciones la relevancia del empleo de datos con la edad, sexo o raza puede resultar ambiguo, cuando se incluyan en un estudio debería justificarse su utilización.

Se indicará con claridad cómo y porqué se realizó el estudio de una manera determinada. Se ha de especificar cuidadosamente el significado de los términos utilizados y detallar de forma exacta como se recogieron los datos (por ejemplo, qué expresiones se incluyen en la encuesta, si se trata de un cuestionario autoadministrado o la recogida se realizó por otras personas, etc.).

Describa los métodos, aparataje (facilite el nombre del fabricante y su dirección entre paréntesis) y procedimientos empleados con el suficiente grado de detalle para que otros investigadores puedan reproducirlos resultados. Se ofrecerá referencias de los métodos acreditados entre ellos los estadísticos; se darán referencias y breves descripciones de los métodos que aunque se hallen duplicados no sean ampliamente conocidos; se describirán los métodos nuevos o sometidos o modificaciones sustanciales, razonando su utilización y evaluando sus limitaciones.

Identifique con precisión todos los fármacos y sustancias químicas utilizadas, incluya los nombres genéricos, dosis y vías de administración. En los ensayos clínicos aleatorios se aportará información sobre los principales elementos del estudio, entre ellos el protocolo (población a estudio, intervenciones o exposiciones, resultados y razonamiento del análisis estadístico), la asignación de las intervenciones (métodos de distribución aleatoria, de ocultamiento en la asignación a los grupos de tratamiento), y el método de enmascaramiento.

Cuando se trate de artículos de revisión, se ha de incluir una sección en la que se describirán los métodos utilizados para localizar, seleccionar, recoger y sintetizar los datos. Estos métodos se describirán también en el resumen del artículo.

**6. Ética.** Cuando se trate de estudios experimentales en seres humanos, indique qué normas éticas se siguieron. No emplee, sobre todo en las ilustraciones, el nombre, ni las iniciales, ni el número de historia clínica de los pacientes. Cuando se realicen experimentos con animales, se indicarán la normativa utilizada sobre cuidados y usos de animales de laboratorio.

**7. Estadística.** Describa los métodos estadísticos con el suficiente detalle para permitir que un lector versado en el tema con acceso a los datos originales, pueda verificar los resultados publicados. En la medida de lo posible, cuantifique los hallazgos y presente los mismo con los indicadores apropiados de error o de incertidumbre de la medición (como los intervalos de confianza). Se evitará la dependencia exclusiva de las pruebas estadísticas de verificación de hipótesis, tal como el uso de los valores P, que no aportan ninguna información cuantitativa importante. Analice los criterios de inclusión de los sujetos experimentales. Proporcione detalles sobre el procesos que se ha seguido en la distribución aleatoria. Describa los métodos de enmascaramiento utilizados. Haga constar las complicaciones del tratamiento. Especifique el número de observaciones realizadas. Indique las pérdidas de sujetos de observación (como los abandonos en un ensayo clínico). Siempre que sea posible, las referencias sobre el diseño del estudio y métodos estadísticos serán de trabajos vigentes (indicando el número de las páginas). Especifique cualquier programa de ordenador, de uso común, que se haya empleado. En la sección de resultados resuma los datos, especifique los métodos estadísticos que se emplearon para analizarlos. Se restringirá el número de tablas y figuras al mínimo necesario para explicar el tema objeto del trabajo y evaluar los datos en los que se apoya. Use gráficos como alternativa a las tablas extensas.

- 8. Resultado.** Presente los resultados en el texto, tablas y gráficos siguiendo una secuencia lógica. No repita en el texto los datos de las tablas o ilustraciones; destaque o resuma tan sólo las observaciones más importantes.
- 9. Discusión.** Haga hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio y en las conclusiones que se derivan de ellos. No debe repetir, de forma detallada, los datos u otras informaciones ya incluidas en los apartados de introducción y resultados. Explique en el apartado de discusión el significado de los resultados, las limitaciones del estudio, así como, sus implicaciones en futuras investigaciones. Se compararán las observaciones realizadas con las de otros estudios pertinentes.
- 10. Conclusiones.** Relaciones la conclusiones con los objetivos del estudio, evite afirmaciones poco fundamentadas y conclusiones insuficientemente avaladas por los datos. En particular, los autores deben abstenerse de realizar afirmaciones sobre costos o beneficios económicos, salvo que en su artículo se incluyan datos y análisis económicos. Podrán incluirse recomendaciones cuando sea oportuno.
- 11. Agradecimientos.** Incluya la relación de todas aquellas personas que han colaborado pero que no cumplan los criterios de autoría, tales como, ayuda técnica recibida, ayuda en la escritura del manuscrito o apoyo general prestado por el jefe del departamento. También se incluirá en los agradecimientos el apoyo financiero y los medios materiales recibidos.
- 12. Referencias bibliográficas.** Numere las referencias consecutivamente según el orden en que se mencionen por primera vez en el texto. Evite citar resúmenes o referencias de originales no publicadas. Tampoco cite una "comunicación personal", salvo cuando en la misma se facilite información esencial que no se halla disponible en fuentes públicamente accesibles, en estos casos se incluirán, entre paréntesis en el texto, el nombre de la persona y la fecha de la comunicación. En los artículos científicos, los autores que citen una comunicación personal deberán obtener la autorización por escrito. La referencias bibliográficas se conforman generalmente de la siguiente manera:  
**Libro:** apellidos e iniciales del nombre. Si son más de 7 autores necesitan sólo los 7 primeros y se pone la expresión et al. Título del libro. Número de Edición (ed.). Lugar de Publicación. Editorial. Año de Publicación.

**Revista:** Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas). Título de la Revista. Lugar de Publicación. Editorial. Volumen y Número de la Revista. Fecha de Publicación y Número de Página.

**Periódico:** Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas). Título del periódico. Ciudad donde se edita. País. Año y número del periódico. Fecha de Publicación y Número de Página.

**Página Web:** Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas).

**Dirección de web.** Fecha de Publicación o Consulta.

13. **Tablas.** Numere las tablas consecutivamente en el orden de su primera citación en el texto y asígneles un breve título a cada una de ellas. En cada columna figurará un breve encabezamiento. Las explicaciones precisas se pondrán en notas a pie de página, no en la cabecera de la tabla.

En estas notas se especificarán las abreviaturas no usuales empeladas en cada tabla. Como llamadas para las notas al pie, utilícense los símbolos siguientes en la secuencia que a continuación se indica: \*, †, ‡, ¶, \*\*, ††, ‡‡, etc. Identifique las medidas estadísticas de variación, tales como la desviación estándar, el error estándar de la media. Asegúrese de que cada tabla se halle citada en el texto.

14. **Ilustraciones (figuras).** Las figuras estarán dibujadas y fotografiadas de forma profesional; no se aceptarán la rotulación a mano. Se aceptarán un tamaño aproximado de 127' 17 mm (5' 7 pulgadas), sin que en ningún caso supere 203' 254 mm (8' 10 pulgadas). Las letras, números y símbolos serán claros y uniformes en todas las ilustraciones; tendrán, además, un tamaño suficientes para que sigan siendo legibles. Los títulos y las explicaciones detalladas se incluirán en las leyendas de las ilustraciones y no en las misma ilustraciones. Las figuras no se doblarán ni se montarán sobre cartulina. Las microfotografías deberán incluir en sí mismas un indicador de la escala. Los símbolos, flechas y letras usadas en éstas tendrán el contraste adecuado para distinguirse del fondo. Si se emplean fotografías de personas, éstas no debieran ser identificables; de lo contrario, se deberá anexas el permiso por escrito para poder utilizarlas. Las figuras se numerarán consecutivamente según su primera mención el texto.

15. **Leyendas de las ilustraciones.** Los pies o leyendas de las ilustraciones se mecanografiarán.
16. **Unidades de medida.** Las medidas de longitud, talla, peso y volumen se deben expresar en unidades métricas (metro, kilogramo, litro) o sus múltiplos decimales. Las temperaturas se facilitarán en grados Celsius y las presiones arteriales en milímetros de mercurio. Todos los valores de parámetros hematológicos y bioquímicos se presentarán en unidades del sistema métrico decimal, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
17. **Abreviaturas y símbolos.** Utilice únicamente abreviaturas normalizadas. Evite las abreviaturas en el título y en el resumen. Cuando en el texto se emplee por primera vez una abreviatura, ésta irá precedida del término completo, salvo si se trata de una unidad de medida común.
18. Conserve una copia de todo el material enviado.





## Dirección de Investigación Científica

Edificio 4-A, tercer piso, cubículo 301

Tel/fax: (504) 231-0678

Pbx: 232-2110, ext. 184

correo electrónico: [dicu@unah.edu.hn](mailto:dicu@unah.edu.hn)

web: [www.unah.hn](http://www.unah.hn)