

## **PATRONES DE OCUPACIÓN DEL TERRITORIO EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO TUY Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AGUA**

MARYURI RAMOS<sup>1</sup>, DYANNA BERROTERÁN<sup>2</sup>, MARÍA VIRGINIA NAJUL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. e-mail: maryuri.y.ramos@gmail.com mvnajul@gmail.com

<sup>2</sup> Aldea San Mateo. Misión Sucre PNF Gestión Ambiental, e-mail: dyannasbm@gmail.com

Recibido: febrero 2013

Recibido en forma final revisado: mayo 2014

### **RESUMEN**

El río Tuy, desde 1956, constituye una de las fuentes de abastecimiento hídrico para la región capital y presenta recurrentes problemas de calidad reportados previamente por varios autores. Con el propósito de suministrar información que apoye la toma de decisiones para la gestión integral de la cuenca, se describe la relación entre los patrones de ocupación del territorio y la variación de la calidad del agua en la cuenca media del río Tuy (CMRT). Se analizaron los estudios de caracterización realizados en la CMRT durante el período 1968-2008, y las tendencias en la calidad del agua reportadas fueron contrastadas con los patrones de ocupación territorial, identificables cualitativamente en imágenes aéreas y satelitales de cada zona, considerando las huellas territoriales documentadas. Se identificaron y caracterizaron los siguientes tipos de ocupación territorial: urbanización planificada y no planificada, zonas industriales, zonas agrícolas y embalses. Se encontró que las tendencias en los niveles de contaminación para el río coinciden con las variaciones en el tipo de ocupación y uso de los suelos. El origen de la contaminación es antrópico y alcanza el río debido a fallas en la gestión de la cuenca. Se recomienda implementar medidas efectivas para disminuir el impacto que se producirá en el cuerpo de agua, de continuarse urbanizando la zona como hasta ahora.

*Palabras clave:* Río Tuy, Ocupación del territorio, Calidad del agua, Imágenes de satélite, Gestión integral de la cuenca, Índice de contaminación, Efluentes domésticos e industriales.

### **PATTERNS OF OCCUPATION OF THE TERRITORY IN THE MIDDLE BASIN OF THE TUY RIVER AND ITS IMPACT ON THE QUALITY OF THE WATER**

#### **ABSTRACT**

Since 1956, the Tuy River is one of the sources of water supply for the capital region and shows recurring problems of quality, previously reported by several authors. In order to provide information to support decision-making for the integral management of the basin, this work describes the relationship between the patterns of occupation of the territory and the variation in the quality of the water in the middle basin of the Tuy River (CMRT). Several CMRT characterization studies during the period 1968-2008 were analyzed. Trends in the quality of the water were compared with the reported patterns of territorial occupation, qualitatively identified by aerial and satellite imagery of each zone, taking into account the territorial footprints documented. We identified and characterized the following types of territorial occupation: planned and unplanned urbanization, industrial areas, agricultural areas and reservoirs. It was found that the trends in levels of pollution for the river coincide with variations in the type of occupation and use of the soils. The source of the contamination is anthropic and reaches the river because of flaws in the management of the basin. It is recommended to implement effective measures to reduce the impact that will occur in the body of water, if the urbanizing area continues as until now.

*Keywords:* Tuy river, Occupation of the territory, Water quality, Satellite imagery, Integrated management of the basin, Index of pollution, Domestic effluents and industrial.

#### **INTRODUCCIÓN**

El río Tuy recorre 288 kilómetros desde su nacimiento en el Monumento Natural Pico Codazzi, Colonia Tovar, hasta su desembocadura en las playas de Paparo. Sus aguas

se recogen en un área de 9.180 km<sup>2</sup>, donde se alojan la ciudad de Caracas y sus principales ciudades satélite, algunas zonas industriales y agrícolas, varios parques nacionales y regiones turísticas (Gobernación del estado Bolivariano de Miranda, 2007). La llamada Cuenca Media

(entre Táchata y Santa Teresa) donde se encuentra la Toma de Agua para el acueducto (en San Antonio de Yare) con una aducción promedio de 2 m<sup>3</sup>/seg (HIDROCAPITAL, 1999), ha experimentado un rápido crecimiento poblacional e industrial (INE, 2001), por lo que mantener la calidad de las aguas representa un gran esfuerzo para los entes involucrados.

Históricamente la ocupación territorial sobre los Valles del Tuy ha guardado estrecha relación con el crecimiento de Caracas (Delgado, 2006). Barrios (2008) indica que a partir de la segunda mitad del siglo XX, se favoreció ampliamente el establecimiento de complejos industriales en esta zona, constituyéndose fuente de empleo y, por tanto, eje de atracción urbana hacia la cuenca del río Tuy.

Considerando que: a) el uso de los suelos constituye el principal factor antrópico que afecta la calidad del agua en ríos urbanos (Dourojeanni & Jouravlev, 1999), b) cada tipo de ocupación del suelo genera una huella territorial identificable mediante el análisis visual de imágenes satelitales (Chuvioco, 1996), c) las alteraciones de la calidad pueden evaluarse mediante el uso de Índices de Contaminación (ICO) que clasifican cuerpos de agua altamente intervenidos (Ramírez *et al.* 1997), y con el

propósito de suministrar información que apoye la toma de decisiones para la gestión integral de la cuenca del río Tuy, en el presente trabajo se estudia la relación entre los patrones de ocupación del territorio y las tendencias en la calidad del agua en la CMRT.

## METODOLOGÍA

Para el logro del objetivo propuesto se realizaron las siguientes actividades:

- 1.- Identificación de los patrones de ocupación del territorio a través de:
  - Recopilación, convalidación y análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélite de la CMRT en diferentes épocas, para las siguientes localidades: Táchata, Cúa, Ocumare, Yare y Charallave. Pre-selección de imágenes con: resolución temporal de al menos 5 años, resolución espacial con píxeles de al menos 30 m y accesibilidad para la obtención de datos (Sandoval & Pueyo, 2006). La Tabla 1 resume tanto las características de las aerofotografías e imágenes de satélite preseleccionadas como el tratamiento dado a las mismas.

**Tabla 1.** Aerofotografías e imágenes de satélite empleadas

Tipo de imagen	Año	Origen	Zona	Tratamiento
Aerofotografías (blanco y negro)	1975	Archivo IGSB misión 030198, (Escala 1:25000)	Cúa/ Foto 4389 Ocumare/ Foto 4420 Yare Norte/ Foto 4352	Digitalización a 300 puntos por pulgadas
	1991	Archivo IGSB misión 030320, (Escala 1:25000)	Cúa/ Foto 048 Ocumare/ Foto 041 Charallave Sur/ Foto 090	
Imágenes digitales (en línea)	2003	Google Earth® (altura del ojo: 8 a 9 km; elevación: 250 – 300 m)	Charallave Sur: N 10° 10' 58 67" / O 66° 49' 44 52"	Captura de pantalla en color real y llevado a escala de grises con Adobe Photo-Shop®
	2006		Cúa: N 10° 11' 06 62" / O 66° 55' 41 47"	
			Ocumare: N 10° 07' 26 83" / O 66° 50' 27 42"	
			Yare Norte: N 10° 13' 39 37" / O 66° 45' 26 40"	

- Interpretación visual de las imágenes e identificación cualitativa de tipos de ocupación del territorio, de acuerdo con las características propias de cada uno (Tabla 2), y selección de imágenes correspondientes

a zonas con impactos visibles susceptibles de comparación temporal, coincidentes con ocupaciones territoriales previamente reportadas (Tabla 3).

**Tabla 2.** Criterios para la caracterización de las huellas territoriales

Tipo de ocupación	Descripción	¿Cómo se identifica en la imagen?
Urbanización planificada	Comunidades construidas bajo proyecto, en terrenos aptos para ello	Grandes áreas sin vegetación donde internamente se distinguen unidades uniformemente distribuidas. Se expanden hacia otros terrenos de características similares (Guichón et al. 1999)
Urbanización no planificada	Se desarrolla indistintamente alrededor de un punto de atracción (autopista, ríos, zonas industriales) en los terrenos de menor valor	Pequeñas unidades de tamaño y separación variable, distribuidas sin orden alguno en medio de zonas con vegetación, siguiendo la línea de carreteras o cuerpos de agua. La expansión se observa hacia laderas o terrenos de poco valor (Fuenzalida & Moreno, 2010)
Industrial	Se asienta en áreas definidas del terreno con acceso a las vías de comunicación	Zonas perfectamente organizadas, formas agrupadas con galpones, tanques, depósitos y otras formas específicas (cuyos techos metálicos reflejan la luz solar), estacionamientos y caminos internos (Guichón et al. 1999)
Agrícola	Puede ser industrializada o de corto alcance. Generalmente se desarrolla en las riberas del río	Largas extensiones de terreno organizadas en grandes cuadrículas cerca de los cuerpos de agua. Los distintos cultivos aparecen como cuadros de tonalidades regulares pero diferentes entre sí (Chuvieco et al. 2002)
Embalses	Acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho del río represando parcial o totalmente su cauce	Espejo de agua que posee un contorno irregular pero con líneas regulares en algunos de sus extremos, las presas (Chuvieco, 1996)
<b>Variaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Expansión-contracción</u>: zonas que ocupan más o menos área en imágenes sucesivas</li> <li>• <u>Cambio de densidad</u>: zonas que presentan mayor o menor número de estructuras en la misma área en imágenes sucesivas</li> <li>• <u>Cambio de uso</u>: zonas que cambian de características en imágenes sucesivas</li> </ul>	

**Tabla 3.** Fenómenos de ocupación territorial reportados para la CMRT

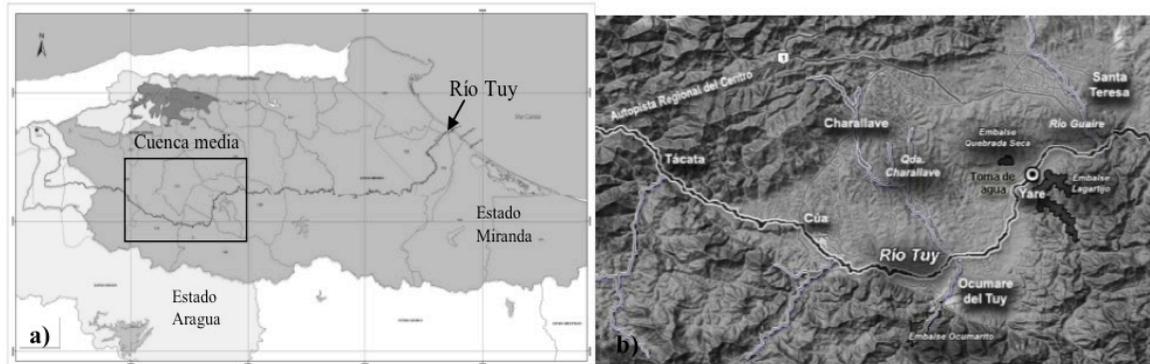
Fenómeno	Huella Territorial
Cambio de uso de los suelos, descrito por Rofman (1978) Disminución de la actividad agrícola, reportado por Gründwal (1989)	Disminución de zonas agrícolas
Sobresesegregación urbana, descrito por Lacabana & Cariola (2003)	Desarrollo de urbanizaciones planificadas y no planificadas paralelamente
Presión causada por la desconcentración industrial del área metropolitana, reportada por Delgado (2006)	Crecimiento de zonas industriales

- Identificación de Patrones de Ocupación Territorial.
- 2.- Identificación de las alteraciones de calidad del agua reportadas:
- Revisión y selección de diferentes estudios en la cuenca del río Tuy durante 1969-2008.
  - Organización y clasificación de la información de acuerdo con el objetivo del estudio.
  - Selección de estudios que reportan mediciones de parámetros de calidad en la CMRT, específicamente para las estaciones ubicadas en Tácata, Cúa, Ocumare y Yare. Aplicación de criterios de confiabilidad (APHA, AWWA, WEF, 1998; Tchobanoglous & Schroeder, 1985) a los datos disponibles, correspondientes a las siguientes campañas: temporada de sequía: 1968, 1992, 1996, 1997 y 2007; temporada de lluvia: 1968, 1985, 1987, 1992, 1996, 2007 y 2008.
  - Cálculo de índices de contaminación por materia orgánica (Ramírez *et al.* 1997).
- 3.- Correlación entre la variación de la calidad del agua en la CMRT con los patrones de ocupación identificados, mediante análisis comparativo, con el apoyo de datos censales para población e industrias, cuadros y gráficos.

## RESULTADOS

En la Figura 1 se presenta la zona de estudio: cuenca media de río Tuy (entre Táchata y Santa Teresa) que, pesar de ser la cuenca de abastecimiento de agua potable desde

1956, año en el que entró en funcionamiento el sistema de abastecimiento TUYI (Azpúrua, 1965), ha venido sufriendo patrones de ocupación territorial que han afectado la calidad del agua del río, provocando interrupciones frecuentes de las captaciones, reportadas por JICA (1997).



**Figura 1.** Zona de estudio: cuenca media del río Tuy. Elaboración propia a partir de mapas tomados del Instituto Geográfico Simón Bolívar (IGSB) y modelo digital de terreno tomado de Google Earth.

### Patrones de ocupación del territorio

Mediante el análisis cualitativo de imágenes aéreas y de satélite de distintas fechas, se visualizó la evolución temporal de la ocupación del territorio, identificando las tendencias de ocupación del suelo, así como las modificaciones en los modelos de ocupación, destacando las zonas donde existen serias afectaciones.

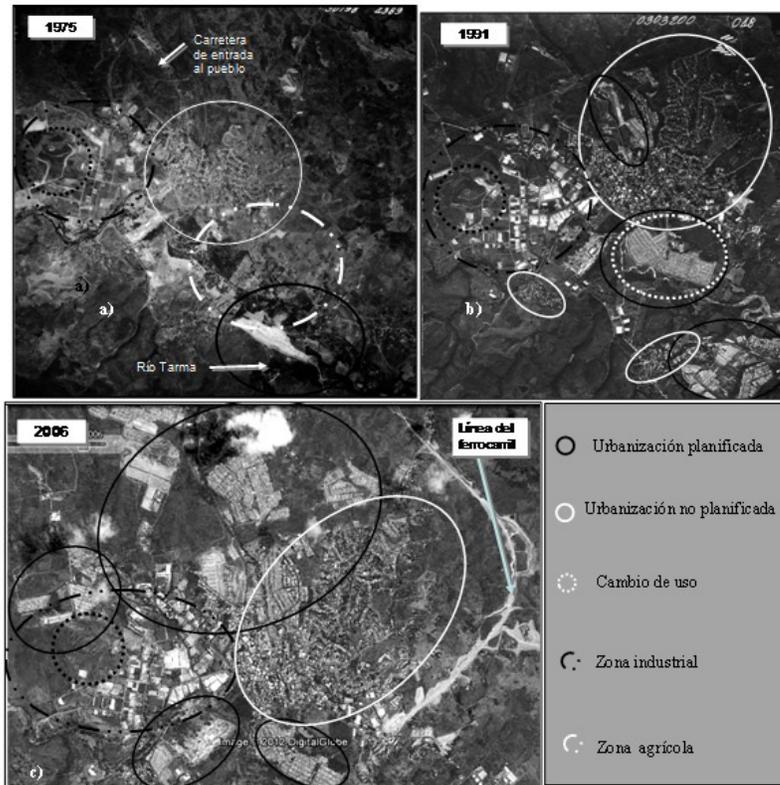
Se distinguieron los siguientes modelos de ocupación territorial, reportados previamente en la bibliografía para la CMRT: urbanización planificada y no planificada, zonas industriales, zonas agrícolas y embalses. La huella territorial originada por los modelos de ocupación del suelo que han venido operando durante los últimos 40 años en la CMRT, puede agruparse en torno a varios ejes geográficos: Cúa-Ocumare, Charallave-Cúa, Charallave-Ocumare, Charallave –Yare vía La Raiza, Ocumare-Yare y Yare-Santa Teresa.

Se visualizaron los siguientes patrones: a) ocupación urbana e industrial en el eje Charallave-Cúa con predominio de la urbanización planificada sobre la no planificada, b) ocupación mayormente industrial en el eje Charallave-Ocumare, c) ocupación urbana desordenada y agrícola con mayoría de afectación urbana no planificada en el eje Cúa-Ocumare, d) ocupación industrial y urbana planificada, en el eje Charallave-Yare vía la Raiza con predominio de afectación por urbanización desordenada en el sector las brisas-Charallave.

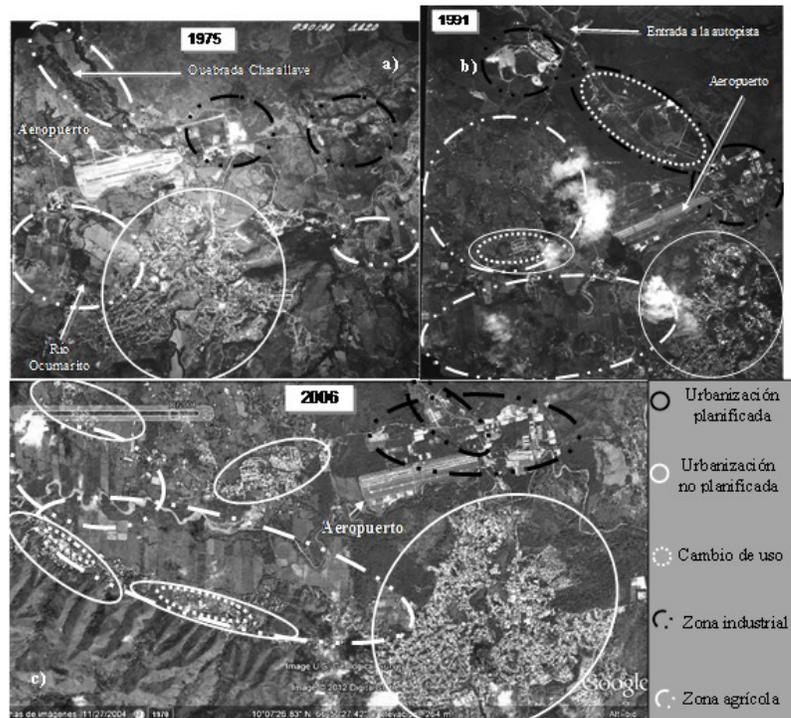
La población de Cúa (Figura 2) crece desordenadamente hasta los años 90; en 1991, se presenta un cambio en el tipo de ocupación al sustituirse la zona agrícola visualizada en 1975 por una urbanización planificada. A partir del 2003 se observa la aparición de planificaciones urbanísticas en esta zona, que aumentan en 2006, acompañadas de nuevas ocupaciones desordenadas adyacentes a la línea de ferrocarril. A finales de los 2000 prácticamente toda la planicie ya está urbanizada. Paralelamente puede indicarse que la zona industrial crece en densidad pero no en extensión y a partir de 2003 comienza a observarse mezcla de zona urbana con industrial.

En la zona de Ocumare (Figura 3) la ocupación por crecimiento urbano no planificado predomina sobre el planificado. La población crece desordenadamente en las zonas cercanas a las áreas agrícolas hacia el eje Cúa-Ocumare y los grandes urbanismos aparecen tardíamente luego del año 2006, principalmente en las riberas del río Tuy y de la quebrada Charallave. La zona industrial crece en densidad y en extensión, principalmente hacia el eje Charallave-Ocumare a lo largo de la autopista. Las zonas agrícolas se reducen pero no desaparecen completamente, se mantienen particularmente en la zona de Colonia Mendoza.

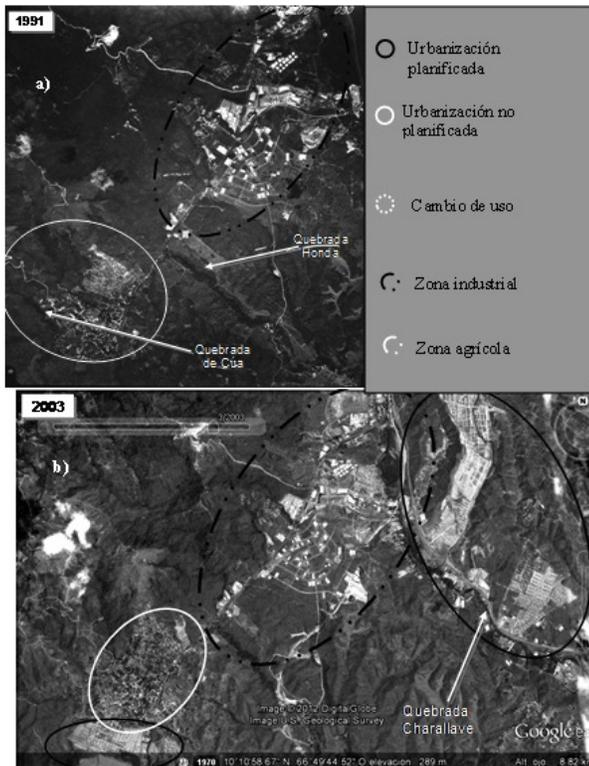
En Charallave (Figura 4) predominan tanto la ocupación industrial como la urbana, con preponderancia de ocupación por urbanizaciones planificadas durante la última década, en la cual las zonas de escorrentía y el área de inundación de la Quebrada Charallave fueron deforestadas y ocupadas por complejos industriales y urbanos planificados.



**Figura 2.** Variación temporal de los tipos de ocupación del territorio en Cúa en los años 1991, y 2006. Elaboración propia a partir de fotografías aéreas obtenidas del Centro de Documentación Digital del IGSB: a) misión 030198, escala 1:25000, vuelo realizado en 1975, b) misión 0303200, escala 1:25000, vuelo realizado en abril de 1991; c) imágenes satelitales extraídas de Google Earth.



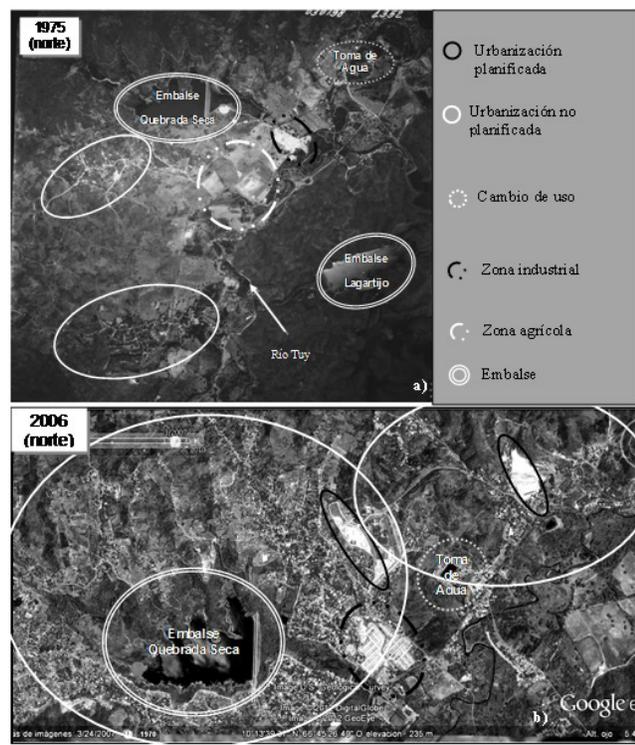
**Figura 3.** Variación temporal de los Tipos de Ocupación del Territorio en Ocumare en los años 1975, 1991 y 2006. Elaboración propia a partir de fotografías aéreas obtenidas del Centro de Documentación Digital del IGSB: a) misión 030198, escala 1:25000, vuelo realizado en 1975, b) misión 030320, escala 1:25000, vuelo realizado en abril de 1991; c) imágenes satelitales extraídas de Google Earth.



**Figura 4.** Variación temporal de los tipos de ocupación del territorio en la zona Sur de Charallave para los años 1991 y 2003. Elaboración propia a partir de fotografías aéreas obtenidas en: a) Centro de Documentación Digital del IGSB: misión 030320, escala 1:25000, vuelo realizado en abril de 1991; b) imágenes satelitales extraídas de Google Earth.

En Yare (Figura 5), el crecimiento urbano desordenado predomina sobre el ordenado, la población mantiene sus límites hacia el sur y los nuevos pobladores se asientan principalmente alrededor del embalse Quebrada Seca. Especialmente este fenómeno poblacional desordenado parece relacionarse con la aparición de las instalaciones

penitenciarias. Las zonas urbanizadas aparecen en fechas más recientes en la zona norte de Yare, aledaños a la toma de agua. Las zonas industriales se consolidan y se mantienen en el tiempo sin aumentar en densidad ni extensión y presenta poca actividad agrícola.



**Figura 5.** Variación temporal de los tipos de ocupación del territorio la zona norte de Yare para los años 1975 y 2006. Elaboración propia a partir de fotografías aéreas obtenidas de: a) Centro de Documentación Digital del IGSB: misión 030198, escala 1:25000, vuelo realizado en 1975; b) imágenes satelitales extraídas de Google Earth

## Demografía

Para el año 2008 la proyección de la población en la zona era de 689.056 habitantes (INE, 2001). La Figura 6 muestra el crecimiento poblacional de cinco de las principales localidades de los Valles del Tuy.

En el período 1960-1970 las poblaciones registran un crecimiento similar, para 1970-1980 se evidencia un

porcentaje de aumento de población considerable (>50%), el cual coincide con la época de la desconcentración industrial de Caracas, Charallave presenta el mayor aumento.

Para 1980-1990, Cúa y Ocumare registran el mayor aumento. Los períodos posteriores presentan un porcentaje de aumento relativamente constante.

Las poblaciones de Cúa y Ocumare presentan el mayor número de habitantes para las últimas fechas (2005 y 2010).

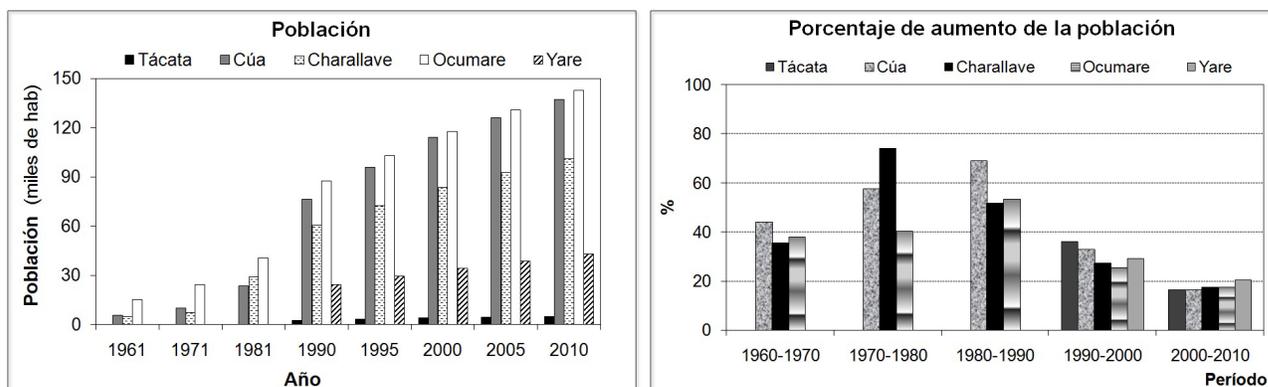


Figura 6. Variación temporal de: a) número de habitantes y b) porcentaje de aumento de la población para cinco localidades ubicadas en los Valles del Tuy. Elaboración propia a partir de Datos del INE (2001)

## Características del desarrollo industrial

La Tabla 4 resume las características reportadas por tres censos industriales recopilados en la revisión bibliográfica, que incluye para los años 1989 y 1997 la zona industrial

de Las Tejerías. En general la cantidad de industrias censadas presentó un aumento y se afianzó el predominio de la pequeña y mediana industria para 2007. Respecto a la ubicación del parque industrial, Charallave se mantiene como la zona preferencial.

Tabla 4. Características del parque industrial en la CMRT, incluyendo la zona industrial Las Tejerías

	1987	1989	1997	2007
Cantidad		36	47	203
Estrato	PO: >100= 68%; <20= 5%; 20-100= 27 %			PO: >100= 17%; <20= 41%; 20-100= 42 %
Ubicación			Cúa: 4%; Charallave: 56% Ocumare: 10%; Yare: 26% Santa Teresa: 4%	Cúa: 20%; Charallave: 34% Ocumare: 8%; Yare: 12% Santa Teresa: 26%

PO: Población ocupada

Elaboración propia a partir de datos tomados Grünwald SARETUY (1989), Grünwald-GTZ- Agencia de Cuenca (1997) e INE-2007 (2010).

## Alteraciones de la calidad del agua

La aplicación del Índice de Contaminación por materia orgánica (ICOMo), desarrollado por Ramírez *et al.* (1997) para ríos colombianos, permitió estimar tanto el impacto de fuentes diversas de contaminación orgánica, como la respuesta ambiental del cuerpo de agua a este tipo de polución a través de un valor cuantificable del grado de contaminación, de acuerdo con los rangos de clasificación establecidos por los autores.

En la Figura 7 se presentan las expresiones para su cálculo, y los resultados de su aplicación en la Figura 8.

En líneas generales para las campañas de 1968 y 1977, la CMRT presentó niveles de mediana contaminación por materia orgánica, sufriendo para las de 1985 y 1987 un deterioro permanente en su calidad, alcanzando niveles de alta y muy alta contaminación. Sólo se observa una momentánea recuperación en 1996 y 1997, pero posteriormente se mantiene en niveles de alta contaminación.

En los períodos evaluados la estación Toma de Agua se mantiene entre alta y muy alta contaminación por materia orgánica, a excepción de las épocas de lluvia de los años 1968 y 1977 donde exhibe mediana contaminación. Todo ello compromete seriamente su uso como fuente de abastecimiento.

Al aplicar el ICOMo en los tributarios, incrementa en el tiempo en todos ellos, destacando la Quebrada Charallave como aquella que presenta un nivel alto de contaminación tanto en período de lluvia como de estiaje.

$$ICOMo = \frac{1}{3} * (I_{DBO} + I_{CT} + I_{WOD}) \quad (1)$$

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,7 * \text{LogDBO} \quad (2)$$

DBO > 30 mg/l ?  $I_{DBO} = 1$ ;      DBO < 2 mg/l, ?  $I_{DBO} = 0$

$$I_{CT} = -1,44 + 0,56 * \text{LogCT} \quad (3)$$

CT > 20000 NMP/100ml ?  $I_{CT} = 1$ ;      CT < 500 NMP/100ml ?  $I_{CT} = 0$

$$I_{WOD} = 1 - 0,01 * \%OD \quad (4)$$

ICO	Grado de Contaminación	Escala de Color
0 a 0,2	Muy bajo	
0,2 a 0,4	Bajo	
0,4 a 0,6	Medio	
0,6 a 0,8	Alto	
0,8 a 1	Muy alto	

Donde

ICOMo: Índice de Contaminación por Materia Orgánica (Adimensional)

I<sub>DBO</sub>: índice de DBO (Adimensional)

I<sub>CT</sub>: índice de Coliformes Totales (Adimensional)

I<sub>WOD</sub>: índice de % saturación de oxígeno (Adimensional)

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno(mg/l)

CT: Coliformes Totales (NMP/100ml)

OD: Oxígeno disuelto ( mg/l)

Figura 7. Expresiones matemáticas para el cálculo del ICOMo (Ramírez et al. 1997)

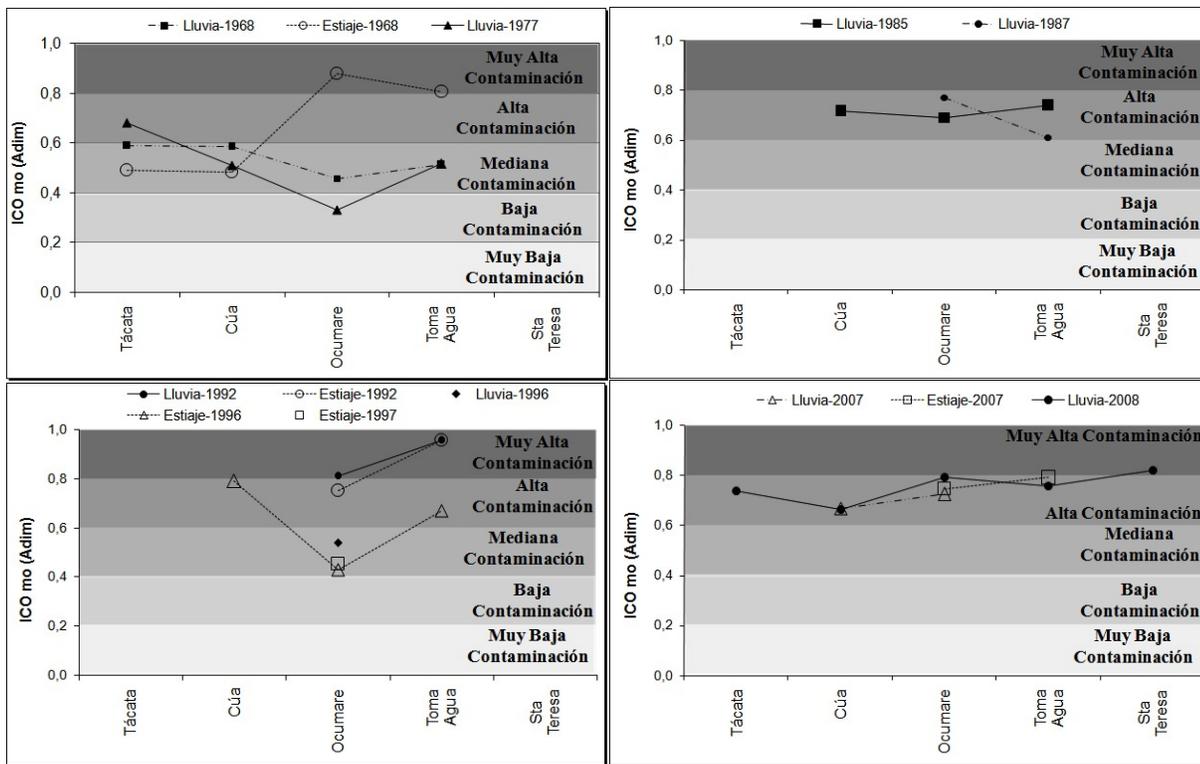


Figura 8. Variación temporal y espacial de los ICOMo en la cuenca media del río Tuquí.

## DISCUSIÓN

Las huellas territoriales detectadas en las imágenes de **1975**, muestran predominio de zonas agrícolas y urbanización no planificada, los datos de calidad indican que el río ya para entonces presentaba en promedio mediana contaminación. Ocumare, la ciudad más poblada de la zona (según los datos censales), es la estación que exhibe el mayor índice de contaminación para 1968.

El aumento en los niveles contaminación para **1985 y 1987**, coincide con el aumento de población cercano al 50% para 1980-1990 (Figura 6) relacionado con la migración causada por la desconcentración industrial del AMC reportada por Delgado (2006); paralelamente los datos censales (Tabla 4) indican que para 1987 predominaban las grandes industrias que vertían sus efluentes al río con poco o ningún tratamiento, según lo indicado por Grünwald (1989).

Las imágenes de **1991** muestran un cambio de uso de suelos al sustituirse algunas zonas agrícolas por desarrollos industriales. Este cambio de uso observado entre las imágenes de 1975 y 1991 fue descrito por Rofman (1978). La reducción de zonas agrícolas fue reportada por Grünwald (1989), quien indica que el desarrollo urbano-residencial en zonas de la cuenca causó una disminución del porcentaje de la superficie ocupada para fines agrícolas entre 1971(470.616 ha) y 1985 (416.888 ha).

La proliferación de la ocupación industrial vista en las imágenes (coincidente con el aumento del número de industrias censadas entre 1989-1997) y la expansión de la urbanización desordenada, se reflejan en la campaña de **1992**, en la cual se observa que los niveles de contaminación medidos en lluvia son mayores a los medidos en sequía, comportamiento atribuido a la existencia de contaminación orgánica de carácter disperso que introduce DBO al río con la escorrentía (Grünwald, 1992; 1997). Este comportamiento corresponde a lo reportado por Goitía & Olivo (1987), quienes indican que la dotación de servicio de cloacas es de 45% respecto a la población total de la cuenca y las mismas se encuentran deterioradas en varios puntos, lo que origina que la carga orgánica baje al río con la escorrentía. En cuanto a las actividades industriales y agrícolas en la Cuenca del Tuy, Ramírez (1990) reporta una relación entre las mismas y los flujos anuales de metales pesados que llegan al mar Caribe por esta vía.

El descenso en los niveles de contaminación encontrado en las campañas **1996-1997**, respecto a 1992, coincide con la época de inicio de la aplicación de las normas para la regulación de vertidos según Decreto 883 (GORV, 1995),

con el fin de la erradicación de las granjas porcinas en la cuenca iniciado en 1990 con el Decreto 635 (GORV, 1990) reportado por FLNH (2008) y con la aplicación acciones enmarcadas en el Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso para el Área Crítica con Prioridad de Tratamiento publicado según Decreto 2308 (GORV, 1993).

Las acciones de control citadas no fueron eficientes, ya que las huellas territoriales identificadas en las imágenes de 2003 y 2006 muestran la proliferación del crecimiento urbano desordenado a lo largo del eje Cúa-Ocumare en paralelo a la aparición de grandes urbanismos, correspondientes tanto con el fenómeno de sobre segregación urbana descrito por Lacabana & Cariola (2003) como con los datos censales que indican que las poblaciones de Cúa y Ocumare presentan el mayor número de habitantes y que aumentó la diversificación del parque industrial; esto se vio reflejado en el aumento de los niveles de contaminación encontrado en las campañas **2007-2008** (alta y muy alta).

Paralelamente se observa (Figura 8) una disminución de las diferencias entre los ICO obtenidos en lluvia y sequía, lo que puede implicar una ligera reducción del carácter disperso de la contaminación orgánica asociado con una mayor canalización de las aguas servidas en la zona, FLNH (2008) reporta que la dotación de cloacas en toda la cuenca es de 74%, lo cual implica un aumento frente al 45% reportado en 1987.

La composición de los efluentes domésticos provenientes de las ocupaciones urbanas (planificadas o no) es similar en cuanto a materia orgánica y bacteriología, difieren en la forma como alcanzan al río en función de su canalización y tratamiento. Es de hacer notar que el tipo de ocupación urbanización planificada que se considera, debe contar con todos los servicios, generalmente trata de manera deficiente sus efluentes.

FLNH (2008) reporta que las fallas en los sistemas de tratamiento de aguas servidas de muchos de estos urbanismos, ocasiona que una parte importante de sus efluentes lleguen sin tratamiento directamente al río, constituyendo una fuente de contaminación de carácter puntual. Adicionalmente la Dirección de Salud Ambiental del Estado Miranda (2011) reporta un registro de 352 plantas de tratamiento de aguas residuales en el estado Miranda para el año 2008, de las cuales menos del 20% se encontraban operando adecuadamente.

Los niveles de contaminación en la estación Toma de Agua para las últimas campañas (**alta y muy alta**) coinciden con lo reportado por Alvarez *et al.* (2007), quienes al estudiar los

sedimentos de los embalses Quebrada Seca, Lagartijo y La Pereza en 2007, detectaron no sólo presencia de cierto nivel de contaminación asociado con la actividad humana, sino también semejanza en el comportamiento de los sedimentos de los embalses; los autores atribuyeron este resultado “a que estos embalses se encuentran interconectados por el Sistema Tuy, donde se ha determinado una fuerte intervención antropogénica”.

En general, el desarrollo en la CMRT se ha caracterizado por una rápida urbanización, una proliferación industrial según lo confirman los datos censales (Tabla 4 y Figura 6) y un crecimiento espontáneo no planificado a lo largo del valle de acuerdo con lo observado en las imágenes, ocupando incluso áreas de inundación periódica y áreas de recarga de embalses, lo cual coincide con lo reportado por López (1991), quien indica que la inestabilidad del cauce del río Tuy es consecuencia de la intervención humana: aumento en la producción y transporte de sedimentos, restricción y confinamiento del cauce, ocupación de planicies inundables y extracción de material granular del lecho.

Se han abandonado las tierras agrícolas próximas a las ciudades y se han sustituido por industrias y urbanismos; esta distribución desigual y desordenada desaprovecha la capacidad de autorecuperación del río reportada por Azpúrua (1965).

Así pues, el fenómeno de crecimiento urbano que experimentó la zona de los valles del Tuy medio durante el período de estudio se vio acompañado por dos factores importantes: colapso de los servicios municipales básicos y fallas en el control de vertidos, lo que eventualmente resultó en una mezcla indiscriminada de descargas urbanas e industriales que llegan al río con poco o ningún tratamiento.

Esto trae como consecuencia un aumento innecesario en los costos de tratamiento, afectando e incluso inutilizando los sistemas existentes, deteriorando progresivamente la calidad del agua y amenazando la disponibilidad del recurso.

## CONCLUSIONES

La urbanización planificada y la industrial predominan en varios sectores de la CMRT. El patrón de ocupación “urbano ordenado” no se vio acompañado de una disminución de lo “urbano desordenado”. La ocupación agrícola disminuyó durante el período de estudio al ser sustituida por ocupación “industrial” y “urbana planificada”.

La aplicación de los Índices de Contaminación (ICOMO)

permite clasificar al agua en la CMRT, durante el período 1968-2008, como de alta y muy alta contaminación por materia orgánica.

La estación Toma de Agua muestra niveles de ICOMO de alta y muy alta contaminación.

La estacionalidad influye en la calidad del agua en el río. Se presenta cierto régimen de contaminación orgánica que tiende a dispersarse se encuentra asociado con la aparición de patrones de ocupación urbana desordenada y se relaciona con fallas en el servicio de recolección y conducción de aguas servidas. El patrón de urbanización planificada con poco o ningún tratamiento de efluentes también constituye una importante fuente de contaminación orgánica.

El aumento de los niveles de contaminación orgánica encontrado en las clasificaciones de los ICOMO coincide con el aumento de población registrado en los datos censales.

El crecimiento de las zonas industriales observado en las imágenes y reportado en los datos censales coincide con la presencia de contaminación asociada con este tipo de ocupación reportada en la bibliografía.

Existe relación manifiesta entre la ocupación territorial y los niveles de contaminación en el río. El tipo de crecimiento poblacional predominante en cada zona y en cada período de estudio explica las tendencias en los niveles de contaminación reportados en el río.

## RECOMENDACIONES

Con base en la información presentada, se recomienda:

Preservar la zona de recarga de los embalses ubicados en la zona de estudio.

Implementar de manera efectiva las medidas recomendadas en los Planes de Ordenación del Territorio existentes para disminuir el impacto que se producirá en la cuenca y en consecuencia en el cuerpo de agua, de continuarse urbanizando las zonas de Cúa, Ocumare y el eje Charallave-Ocumare.

## REFERENCIAS

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN (JICA). (1997). El estudio sobre el programa del mejoramiento ambiental de la Cuenca Alta y Media del río Tuy. Informe final. Caracas: M.A.R.N.R. p.199.

- ALVAREZ, M., MÉNDEZ, F., CHIRINOS, J. (2007). Estudio ambiental preliminar de los sedimentos de tres embalses de la región centro norte de Venezuela. *Ciencia*, 15 (2). Recuperado el 12 de Junio de 2011, de <http://www2.scielo.org.ve/scielo.php/>.
- APHA, AWWA, WEF. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association. 20th Edition.
- AZPÚRUA, P. (1965). Abastecimiento de agua de los valles del Tuy medio. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica*. (Colegio de Ingenieros de Venezuela, Caracas) N° 68.
- BARRIOS, S. (2008). *Metropolización y desigualdades socio-territoriales en Venezuela*. CENDES. Recuperado el 23 de diciembre de 2010, de <http://venezuela.unfpa.org/documentos/>
- CHUVIECO, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial*. Madrid: Rialp. p. 568
- CHUVIECO, E., SALAS, J., MEZA, E. (2002). Empleo de la Teledetección en el Análisis de la Deforestación Tropical: El Caso de la Reserva Forestal de Ticoporo (Venezuela). *Serie Geográfica*. N°10, pp. 55 – 76.
- DELGADO, M. (2006). Crecimiento de la población y proceso de urbanización en el Distrito Metropolitano de Caracas: efectos ambientales. Recuperado el 18 de mayo de 2008, de [www.eumed.net/rev/delos/08](http://www.eumed.net/rev/delos/08).
- DIRECCIÓN DE SALUD AMBIENTAL DEL ESTADO MIRANDA. (2011). *Control Sanitario de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Efluentes*. Ponencia inédita presentada en el Taller Tratamiento de Aguas Residuales y Adecuación al Decreto 883. Guatire: Ramos, M., Bonilla, F. y Osorio. N.
- DOUROJEANNI, A. & JOURAVLEV, A. (1999). Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. C E P A L. Recuperado el 13 de Octubre de 2009, de <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/8/>.
- FUENZALIDA, M. & MORENO, A (2010). Propuesta metodológica para establecer el patrón territorial del status socio-económico de la población. Aplicación a la región de Valparaíso (Chile). *Argos*, 27 (52): 98-125. Recuperado el 28 de Marzo de 2010, de <http://www.scielo.org.ve/scielo.php>.
- FUNDACIÓN LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA. (2008). Estudio de tendencia de la calidad del agua del río Tuy. *Compendio 2008-2009*. Caracas: M.A.R.N.R. pp 1-105
- GOBERNACIÓN DEL ESTADO BOLIVARIANO DE MIRANDA (2007). *Primer Plan estatal de Ordenación del Territorio del Estado Bolivariano de Miranda*. Los Teques: Autor.
- GOITÍA, C. & OLIVO, M. (1987). Actualización de los planes de recolección de aguas servidas en los centros poblados de los tramos superior, medio e inferior de la cuenca del río Tuy. Caracas: M. A. R. N. R.p.46.
- GRÜNWARD, E. (1989). Diagnóstico de las fuentes de contaminación en la cuenca del río Tuy. Caracas: M.A.R.N.R. p.95.
- GRÜNWARD, E. (1992). Estudios sobre la contaminación de las aguas en las cuencas del río Tuy y del Lago de Valencia. Caracas. M.A.R.N.R. *Revista Ambiente en la dimensión natural y social de la comunidad*. N° 15 (14). pp 36-38.
- GRÜNWARD, E. (1997). Sistema de Control y de la Red de Cantidad y Calidad de Aguas Superficiales en la Cuenca Alta y Media del río Tuy. *Anuario 1996*. Caracas. M.A.R.N.R. pp 1-38.
- GUICHÓN, M., ANGELINI, M., BENÍTEZ, A., SERAFINI, M., CASSINI, M. (1999). Caracterización ambiental de la cuenca del río Luján (Argentina) aplicando dos metodologías de procesamiento de información satelitaria. *Revista de Teledetección*, 11. Recuperado el 14 de Mayo de 2011, de <http://www.erevistas.csic.es/>
- HIDROCAPITAL. (1999). *Sistemas de producción. El sistema Tuy IV: Justificación y bases para su desarrollo*. Resumen. Caracas: Autor.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (2001). *Censo de población y vivienda 2001 total nacional y entidades federales [Datos en DVD]*. Disponible: Instituto Nacional de Estadística.
- LACABANA, M. & CARIOLA, C. (2003). Estrategias de sobrevivencia, modos de vida y heterogeneidad social en la interfase periurbana de caracas. *Cuadernos del CENDES*, 53 (53). Recuperado el 08 de agosto de 2011 de <http://www.scielo.org.ve/scielo.php/>

- LÓPEZ, J. L. (1991). Impactos geomorfológicos en el río Tuy. Pasado, presente y futuro. Caracas. M.A.R.N.R. p. 48.
- NORMAS PARA LA CLASIFICACIÓN Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA Y VERTIDOS O EFLUENTES LÍQUIDOS. (Decreto N° 883). (1995, Octubre 11). G.O N° 5.021 (Ext.), Diciembre 15, 1995.
- PLAN DE ORDENAMIENTO Y REGLAMENTO DE USO DEL ÁREA CRÍTICA CON PRIORIDAD DE TRATAMIENTO CUENCA DEL RÍO TUY (Decreto N° 2308) (1992, junio 05). G. O N° 4.548 (Extraordinario), marzo 26, 1993.
- RAMÍREZ, A. (1990). Transporte fluvial de nutrientes y metales pesados al mar Caribe de Venezuela. Caracas. M.A.R.N.R.pp67-70.
- RAMÍREZ, A., RESTREPO, R., VIÑA, E. (1997). Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulación y Aplicación. Ciencia Tecnología y Futuro 1 (3); pp135-153.
- REGULACIÓN DE LA ACTIVIDAD PORCINA (Decreto N° 635). (1989, Diciembre 07). G.O N° 4.158 (Extraordinario), Enero 25, 1990.
- ROFMAN, A. (1978). Revisión crítica de la política de desconcentración espacial de la economía, en Papeles de Trabajo sobre la Problemática Urbano-Regional. Cuadernos del Cendes, (Cendes, Caracas) 23; pp 1-36.
- SANDOVAL, Y. & PUEYO, A. (2006). Patrones de Ocupación del Territorio en Áreas Indígenas Mediante el Uso de la Teledetección y los SIG en el Pueblo Indígena Tacana, Bolivia. Recuperado el 21 de septiembre de 2011 de <http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/>
- TCHOBANOGLIOUS, G. & SCHROEDER, E. (1985). Water Quality. Addison-Wesley Longman. p.76.