



**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS**  
**Región Poza Rica Tuxpan**

**Maestría en Ciencias del Ambiente**

“Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Coatzintla, Ver.”

**Tesis para obtener el título de**  
**Maestra en Ciencias del Ambiente**

**Presenta**

Luz Nalleli Chávez Martínez

**Director de Tesis:**

Dra. María Alejandra López Jiménez

**Co - Director de Tesis**

Dr. Israel Hernández Romero

**Tuxpan, Ver.**

**2015**

El presente trabajo de intervención: **“Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver.”**, realizada por la C. Luz Nalleli Chávez Martínez, bajo la dirección de la Dra. María Alejandra López Jiménez y asesoría del consejo particular del Dr. Israel Hernández Romero, ha sido revisado y aprobado como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE**



DRA. MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ JIMÉNEZ

DIRECTORA



DR. ISRAEL HERNÁNDEZ ROMERO

CODIRECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver. enero 2015



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA  
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE



Universidad Veracruzana

Revisión del trabajo de intervención de la alumna: Luz Nalleli Chávez Martínez

Nombre	Fecha	Dictamen	Firma
<u>Maribel Ortiz Dyver</u>	<u>19/1/2015</u>	<u>Aprobada</u>	<u>[Firma]</u>
<u>Eduardo A. Zavaleta</u>	<u>19/01/15</u>	<u>Aprobada</u>	<u>[Firma]</u>
<u>Carlos González Gandara</u>	<u>19/01/15</u>	<u>Aprobada</u>	<u>[Firma]</u>

En la presente revisión se acordó que el trabajo de intervención denominado "Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzacoatlán, Ver." que presenta la sustentante para obtener el Título de Maestría, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.



# “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver”

---

## **Dedicatoria**

A mis hijos Adolfo y Enya que son el motor de mi vida.



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonces en Coatzintla, Ver”

---

### **Agradecimientos**

Agradezco a mi esposo el apoyo brindado en toda la maestría, por comprenderme y motivarme siempre a seguir adelante.

A mi directora de tesis la Dra. Ma. Alejandra López Jiménez, por su apoyo y motivación durante todo el desarrollo de la tesis.

A mi codirector el Dr. Israel Hernández Romero por su apoyo en el desarrollo de la tesis y el análisis de las muestras en el laboratorio.

A la Facultad de Ciencias Químicas de Poza Rica por otorgarme las facilidades para el uso de laboratorio.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada.



## Índice

I. Introducción .....	- 1 -
II. Antecedentes .....	- 3 -
2.1. Calidad del agua superficial .....	- 3 -
2.2. Los ríos de Veracruz .....	- 4 -
2.3. Coatzintla y su problemática .....	- 6 -
III. Objetivos .....	- 7 -
3.1. Objetivo General:.....	- 7 -
3.2. Objetivos Particulares:.....	- 7 -
IV. Material y Métodos.....	- 8 -
4.1. Descripción del Área de Estudio .....	- 8 -
4.2. Índice de calidad del agua.....	- 9 -
4.3. Análisis de muestras .....	- 11 -
4.4. Análisis Estadístico.....	- 15 -
V. Resultados .....	- 16 -
VI. Discusión .....	- 21 -
VII. Conclusiones .....	- 27 -
VIII. Bibliografía .....	- 28 -
Anexo 1 .....	- 32 -
Anexo 2 .....	- 37 -



## Índice de cuadros

Cuadro 1. Pesos establecidos para los parámetros del ICA.....	10
Cuadro 2. Clasificación del ICA de Brown – NFS.....	11
Cuadro 3. Parámetros del ICA de Brown – NFS.....	11
Cuadro 4. Promedios obtenidos por época climática.....	16
Cuadro 5. Comparativo de valores obtenidos – ideales.....	16
Cuadro 6. Datos descriptivos de prueba de normalidad.....	18
Cuadro 7. Prueba de Tukey para estaciones de muestreo.....	19
Cuadro 8. Prueba de Tukey para épocas climáticas.....	19
Cuadro 9 – Coeficientes de función por parámetro – PCA.....	20



## Índice de Figuras

Figura 1. Zona Urbana de Coatzintla.....	8
Figura 2. Estaciones de monitoreo.....	9
Figura 3. Índice de calidad promedio por época climática.....	16
Figura 4. Índice de calidad promedio por estación.....	17
Figura 5. Calidad del agua por parámetro.....	18
Figura 6. Gráfico de dispersión de prueba de normalidad .....	18
Figura 7. Gráfico de dispersión – PCA .....	20
Figura 8. Curva de calidad de DBO.....	32
Figura 9. Curva de calidad SDT.....	32
Figura 10. Curva de calidad de turbiedad.....	33
Figura 11. Curva de calidad de coliformes fecales.....	33
Figura 12. Curva de calidad de nitratos.....	34
Figura 13. Curva de calidad de % OD.....	34
Figura 14. Curva de calidad de pH.....	35
Figura 15. Curva de calidad de temperatura.....	35
Figura 16. Curva de calidad de fosfatos.....	36





## Resumen

Sin duda, uno de los principales problemas en Veracruz es la calidad del agua. El río Cazones es una de las principales cuencas hidrológicas de Veracruz, los municipios de Poza Rica, Tihuatlán, Coatzintla, y Cazones aprovechan el agua de río como agua potable, abasteciendo a más de 300,000 personas, es por eso que es de vital importancia conocer el estado de este recurso hídrico. El propósito de este trabajo fue evaluar espacial y temporalmente el índice de calidad del agua del río durante con la finalidad de que la información generada sea útil en la aplicación de las estrategias para la toma de decisiones respecto al manejo del recurso y la recuperación del río Cazones. Para la evaluación se utilizó el índice de Brown – NFS, el cual contempla nueve parámetros que son: temperatura, pH, nitratos, oxígeno disuelto, fosfatos, coliformes fecales, turbiedad, sólidos disueltos totales y demanda bioquímica de oxígeno. Se monitoreo la calidad del agua del río cazones en tres estaciones de monitoreo ubicadas en el municipio de Coatzintla, en un periodo anual comprendido de abril 2013 a marzo 2014, en dicho periodo el río presento un índice promedio de 63.94, con lo cual se determinó que tiene una calidad media de acuerdo con los establecido con el índice de calidad de Brown – NSF; asimismo, se mostraron diferencias significativas del índice de calidad tanto entre las estaciones monitoreadas como entre las épocas climáticas, siendo los sólidos disueltos totales, la turbiedad y los coliformes fecales, los parámetros de mayor influencia sobre la calidad del agua.



## I. Introducción

El agua es un recurso natural que cumple con un doble propósito, sirve como fundamento de la vida biológica y como fuente para la vida humana (Méndez y Méndez, 2010). El volumen total de agua en la Tierra es de aproximadamente 1.4 billones de km<sup>3</sup>, de los cuales sólo el 2.5% es agua dulce y se localiza en manantiales, lagos y ríos, donde menos del 1% es aprovechable para el ser humano, es decir, sólo el 0.01% de toda el agua en la Tierra (UNEP, 2005).

Los ríos en todo el mundo sirven como receptores de grandes cantidades de residuos generados por la agricultura, actividades industriales y usos domésticos (Goudie, 2000). En México, más de 70% de los cuerpos de agua presentan algún grado de contaminación, lo que ocasiona graves problemas de disponibilidad y acceso a este líquido vital (CONAGUA, 2011).

En Veracruz, la red hidrográfica está conformada por cientos de ríos perennes, intermitentes y arroyos, lo que constituye el recurso más accesible e importante para satisfacer las necesidades humanas (Pérez-Maqueo *et al.*, 2011). Sin duda, uno de los principales problemas en Veracruz es la calidad del agua. El bajo saneamiento de las aguas residuales municipales se debe en parte a que se tienen 88 plantas de tratamiento en todo el estado, de las cuales únicamente el 28 % está en operación, por lo que la cobertura de saneamiento es sólo del 11.4 % (CSVA, 2005).

El río Cazones es una de las principales cuencas hidrológicas de Veracruz, atraviesa total o parcialmente los municipios de Poza Rica, Tihuatlán, Coatzintla, Papantla y Cazones, los cuales lo utilizan principalmente como aprovechamiento del agua potable, a la vez que su corriente recibe descargas de aguas residuales de diferentes orígenes que cada día deterioran su calidad (Basáñez-Cobos *et al.*, 2007). Según las estadísticas de Petróleos Mexicanos (2013) la producción de



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

aceite en la región ha aumentado alrededor de un 40% desde el 2008, lo cual podría estar ejerciendo una fuerte presión para el río.

El municipio de Coatzintla, se abastece de agua del río Cazonos, el cual ha incrementado su contaminación en los últimos años, en gran medida por el desarrollo de la industria petrolera en la región (INE, 1985); Asimismo, La población de Coatzintla ha enfrentado graves problemas de disponibilidad y calidad del agua. Hasta el momento los estudios sobre el río Cazonos son escasos, antiguos y por periodos de monitoreo cortos que limitan una descripción más amplia y específica del comportamiento de la calidad del agua.

Es de vital importancia conocer la calidad del agua del río cazonos, no solo para generar información actual y significativa sino para que dicha información sea tomada como base para una mejor gestión hídrica, así como también para el diseño de un proceso de tratamiento de aguas residuales adecuado a sus necesidades. Cabe mencionar que gran parte de las comunidades de Coatzintla no tiene servicio de agua potable, debido a esto los habitantes de las comunidades toman el agua directamente del río sin que ésta pase por ningún proceso de potabilización, lo cual podría suponer un riesgo para la salud por el desconocimiento de los principales contaminantes del río así como sus efectos.

El propósito de este trabajo es evaluar espacial y temporalmente el índice de calidad del agua del río con la finalidad de que la información generada sea útil en la aplicación de las estrategias para la toma de decisiones respecto al manejo del recurso y la recuperación del río Cazonos.



## II. Antecedentes

### 2.1. Calidad del agua superficial

La calidad del agua superficial es un asunto de gran preocupación en la actualidad. Los ríos debido al papel que desempeñan al llevar las aguas residuales municipales, industriales y la escorrentía agrícola, se encuentran entre los cuerpos de agua más vulnerables a la contaminación (Singh *et al.* 2005).

Un río es un sistema que comprende tanto del flujo principal como los tributarios, que llevan el flujo unidireccional de una carga significativa de materia en fases disueltas y partículas tanto naturales como de fuentes antropogénicas (Shrestha y Kazama, 2007). La calidad de un río en cualquier punto refleja varias influencias importantes, como la litología de la cuenca, aportes atmosféricos, condiciones climáticas y aportes antropogénicos (Bricker y Jones, 1995).

De acuerdo con lo expresado por UNESCO/WHO/UNEP (1992), el proceso de la “Valoración de la calidad de agua”, corresponde a la evaluación de la naturaleza, química, física y biológica del agua, en relación con su calidad natural, efectos humanos y uso pretendido, incluidos: consumo, recreación, irrigación, pesca; y particularmente, usos que puedan afectar la salud pública o la “salud” de los sistemas acuáticos.

La implementación de nuevas metodologías que involucran más de dos parámetros para la valoración de la calidad del agua toma cada vez más importancia, los índices de calidad del agua engloban varios parámetros en su mayoría físico-químicos y en algunos casos microbiológicos que permiten reducir la información a una expresión sencilla, conocida como: índice de calidad del agua (ICA) (Samboni *et al.*, 2007).



Numerosos índices de calidad del agua se han formulado en todo el mundo, los cuales pueden juzgar fácilmente la calidad general del agua dentro de un área particular (Bharti y Katyal., 2011); estos índices se basan en la comparación de los parámetros de calidad establecidos en normas reguladoras y dan un único valor a la calidad del agua de una fuente (Khan *et al.*, 2003; Abbasi, 2002).

## **2.2. Los ríos de Veracruz**

Veracruz es un estado rico en recursos naturales, abundante agua y una gran extensión territorial. La amplia red hidrográfica que existe en el estado, determina que el recurso sea accesible e importante para satisfacer las necesidades humanas; se ha estimado que por el estado pasa aproximadamente el 30% del escurrimiento total nacional, destacando, por la magnitud de sus aportaciones las regiones de Coatzacoalcos y Papaloapan con casi el 14% y 13%, respectivamente (Lara-Domínguez, 2011). Los principales ríos del estado, de norte a sur, son el Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Misantla, Actopan, La Antigua, Jamada-Cotaxtla, Blanco, Papaloapan con sus afluentes San Juan y Tesechoacán, Coatzacoalcos con su afluente Uxpanapa, y el Tonalá. (CSVA, 2006).

La pérdida de recursos naturales, la escasez y exceso de agua y la deficiente calidad de ésta, son el resultado de interacciones funcionales complejas dentro de las cuencas (Pérez-Maqueo, 2011). Los estudios existentes en materia de calidad de agua, revelan que los 14 ríos más importantes del estado de Veracruz registran niveles significativos de contaminación lo que compromete la disponibilidad del recurso hídrico para sus diferentes usos. La alta contaminación de los ríos se debe principalmente a las descargas industriales de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento deficiente; éste tipo de descargas constituyen el 68% del volumen descargado a ríos y cauces; además de que aporta el 76% de la carga contaminante medida en términos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Por su parte las descargas de origen municipal y del sector de servicios participan con el 32% del volumen descargado y el 24% de la carga contaminante (CSVA. 2005).



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

Se han realizado diversos estudios de la calidad del agua en los principales ríos de Veracruz. En el 45% de los ríos y lagunas del golfo de México hay presencia de Pb, Cd y Cr, principalmente en el río Coatzacoalcos (Vázquez-Botello, 2004). Un estudio realizado en 2009 en el río Coatzacoalcos mostró altas concentraciones de Hg (Ramírez, 2009). Conforme lo reflejan los registros del índice de calidad de agua de las estaciones de monitoreo sobre el río Coatzacoalcos, se hace evidente que conforme el río avanza hacia su desembocadura, existe una mayor contaminación debido al incremento de las descargas de los centros urbanos e industriales a lo largo del cauce ocasionando que el río no logre asimilar la carga contaminante y por consiguiente no puede diluirlas lo suficiente para lograr una recuperación de su calidad (CNA, 2003).

Por otra parte, estudios en el río Tecolutla reflejó que entre 2007 y 2008 el río llegó a tener una carga contaminante de 73 mg/l de DBO<sub>5</sub> (Arriaga-Gaona, 2009), lo cual lo ubica como un río contaminado. Otro caso particular es el del río La Antigua, en el que se han detectado parámetros altos de nitrógeno amoniacal, coliformes fecales, grasas, aceites y detergentes, lo cual significa que el medio no es apto para la protección de la vida acuática (CCRTJ, 2012).

Según datos de la Comisión Nacional del Agua (2000), los índices de calidad del agua para la región Golfo Centro, que es a la cual pertenece el río Cazonos, en el periodo 1999-2000 muestran que la calidad del agua en el río Tuxpan corresponde a las categorías de “aceptable” en la parte media de la cuenca, y de “contaminado” en la parte baja. Para el caso del río Cazonos, éste se encuentra ubicado en la categoría de “contaminado”. Así mismo, un estudio realizado en 2007 en el río cazonos y en comparación un estudio anterior realizado por Aoyama (1997), reflejó que la contaminación en el río Cazonos ha aumentado significativamente, sobre todo en las concentraciones de grasas y aceites; Los valores registrados de dicho parámetro arrojaban valores entre 0 y 3 mg/l en 2007 presentó valores hasta de 50 mg/l (Bazañes-Cobos *et al.*, 2007).



### **2.3. Coatzintla y su problemática**

El municipio de Coatzintla, Veracruz, se ubica en la cuenca hidrográfica del Río Cazones. El río es de suma importancia para el municipio de Coatzintla ya que los dota de agua a través de su sistema que capta el líquido en la bocatoma ubicada en Coralillos, Coatzintla.

El municipio de Coatzintla se enfrentó durante décadas a serios problemas de disponibilidad de agua, debido a la falta de una planta potabilizadora, ya que la población era abastecida con agua muy sucia y en ocasiones prácticamente lodo. En las épocas de lluvia, la Comisión municipal del agua cerraba la bocatoma que abastece al municipio argumentando que el exceso de sólidos suspendidos en el río provocaba problemas en la red de abastecimiento, con lo cual se dejaba sin agua a los habitantes. En octubre de 2013 empezó su funcionamiento una planta que solucionará los problemas de agua aproximadamente 25 años; sin embargo, aún no hay planta de tratamiento de aguas residuales con la capacidad de procesar el volumen total de las aguas descargadas, además las compañías establecidas dentro del municipio podrían suponer una fuerte presión para el cuerpo de agua, ya que algunas de ellas hacen descargas directas a los arroyos. En Coatzintla se encuentran los arroyos El Cocinero, Troncones y Potrerillos, estas corrientes son los canales de descarga de las aguas negras municipales e industriales.

De acuerdo con los estudios mencionados en el apartado anterior, se puede asumir que el problema de la contaminación del río Cazones se ha incrementado en los últimos años. Es preciso mencionar que se han registrados varios derrames de hidrocarburos en el río Cazones, los cuales generalmente solo han sido documentados por la prensa local, así como también Pemex ha asumido responsabilidades al respecto. A pesar de la problemática en la zona, los estudios sobre la calidad del agua del río Cazones son pocos y por periodos de tiempo cortos, por eso es importante la generación de información actual y representativa acerca de la calidad del agua de Coatzintla.



### **III. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General:**

Evaluar espacial y temporalmente el índice de calidad del agua tomando como base los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del río cazones dentro de los límites del municipio de Coatzintla, Ver., durante el periodo comprendido de abril de 2013 a marzo 2014.

#### **3.2. Objetivos Particulares:**

- Medir parámetros físico-químicos y bacteriológicos del río Cazones durante un año.
- Determinar el índice de calidad del agua del río Cazones durante un periodo anual.
- Encontrar la relación de los datos obtenidos con respecto a los sitios de muestreo y a las épocas climáticas durante el tiempo de monitoreo.
- Definir la influencia de los parámetros respecto a las variaciones del índice de calidad del agua.





## IV. Materiales y Métodos

### 4.1. Descripción del Área de Estudio

La cuenca del río Cazonos se extiende, según datos de la Comisión Nacional del Agua, en una región de unos 2,688 km<sup>2</sup> pasando por los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. Los manantiales que originan este río se ubican en el estado de Hidalgo a unos 2,750 msnm. El río Cazonos entra dentro de la Región Hidrológica X Golfo Centro según el programa hídrico nacional (CONAGUA, 2012).

El municipio de Coatzintla, Veracruz, se ubica en la cuenca hidrográfica del Río Cazonos. El río es de suma importancia para el municipio de Coatzintla ya que los abastece de agua. Coatzintla es un municipio del estado de Veracruz, se localiza en la zona norte del estado, en las coordenadas 20° 29' latitud norte y 97° 28' longitud oeste, a una altura de 120 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tihuatlán y Poza Rica, al este con Papantla, al oeste con el estado de Puebla y al sudoeste con Coyuntla.

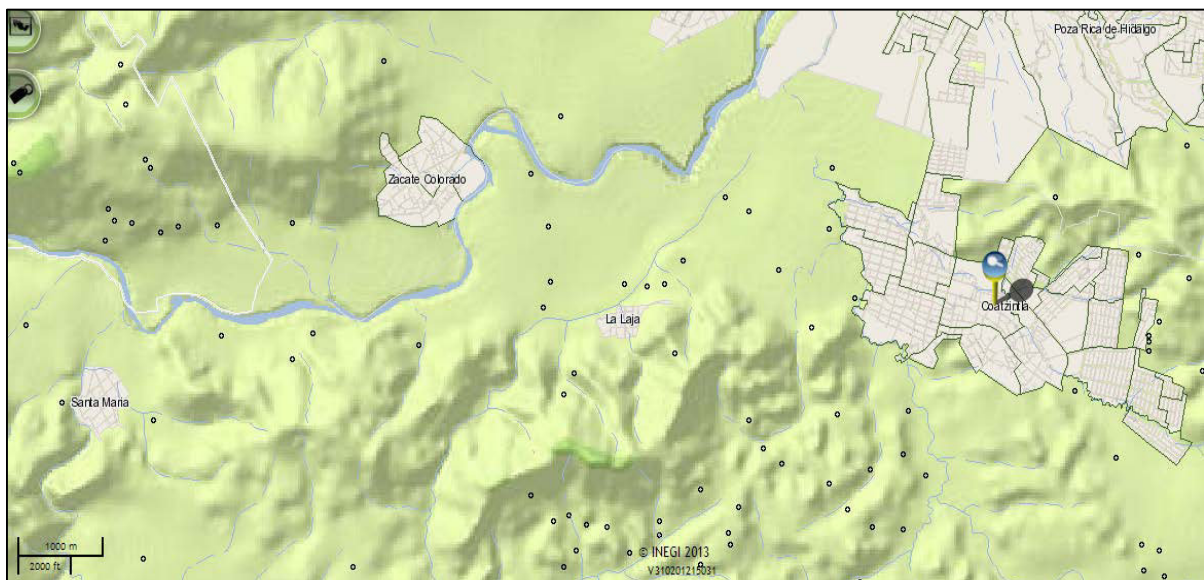


Figura1. Zona Urbana de Coatzintla (INEGI, 2013).



El área donde se realizó el estudio se dividió en tres estaciones, siendo la primera en la comunidad Santa María, ya que es un sitio de fácil acceso al río y es casi al iniciar el municipio de Coatzintla, la segunda estación es en la zona industrial en La Laja y la tercera y última cerca de la bocatoma de agua potable en Corralillos.



Figura 2. Estaciones de monitoreo (INEGI, 2013).

El muestreo se realizó a lo largo de un año con una periodicidad mensual del mes de abril 2013 a marzo 2014. El muestreo que se realizó cumple en su totalidad con los requisitos marcados en la NMX-AA-014-1980, la cual establece el procedimiento para muestreo de cuerpos receptores.

#### 4.2. Índice de calidad del agua

El índice de Brown modificado por la National Foundation Sanitation (NFS), a pesar de haber sido desarrollado en Estados Unidos, es ampliamente utilizado en el mundo y ha sido validado y/o adaptado en diferentes estudios (Debels *et al.*, 2005). Dicho índice es el utilizado en el presente estudio.



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

El índice de calidad del agua de Brown tiene la siguiente fórmula:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

Dónde:

ICA: índice de Calidad de Agua

Sub<sub>i</sub>: Subíndice del Parámetro i

W<sub>i</sub>: Factor de Ponderación para el Subíndice i.

El Sub<sub>i</sub> se toma de las curvas de función para cada parámetro, estas curvas arrojan valores entre 0 y 100 que indican la calidad del agua respecto a cada parámetro. Las curvas fueron diseñadas a la vez que el método en sí (Ver Anexo I).

Una vez teniendo el valor de Sub<sub>i</sub>, éste se multiplica por W<sub>i</sub>, que es la importancia del parámetro, la cual fue establecida desde el diseño de este índice de calidad en 1970. Para determinar la importancia de cada parámetro se tomó la opinión de más de 100 expertos en materia de calidad del agua y se establecieron los siguientes valores:

Cuadro 1- Pesos establecidos para los parámetros del ICA.

<b>Parámetro</b>	<b>W<sub>i</sub></b>
<b>T°C</b>	0.1
<b>pH</b>	0.11
<b>Nitratos</b>	0.10
<b>Fosfatos</b>	0.10
<b>DBO<sub>5</sub></b>	0.11
<b>Oxígeno Disuelto</b>	0.17
<b>SDT</b>	0.07
<b>Turbiedad</b>	0.08
<b>Coliformes Fecales</b>	0.16

Después de aplicar la fórmula se obtiene un valor entre 0-100 y depende de dicho valor la clasificación de la calidad de agua.



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

El índice de Brown maneja la siguiente clasificación:

Cuadro 2 -. Clasificación del ICA de Brown - NFS.

<b>Calidad</b>	<b>Rango</b>	<b>Color</b>
Excelente	91-100	Azul
Buena	71-90	Verde
Media	51-70	Amarillo
Mala	26-50	Naranja
Muy mala	0-25	Rojo

Para la utilización del índice de Brown se miden 9 parámetros, los cuales fueron determinados de acuerdo a las normas mexicanas vigentes (cuadro 3).

Cuadro 3-. Parámetros ICA de Brown-NFS.

<b>Parámetro</b>	<b>Norma oficial</b>	<b>Equipo</b>
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2000	Hanna Instruments 9828
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000	Hanna Instruments 9828
DBO <sub>5</sub>	NMX-AA-028-SCFI-2001	No aplica
Nitratos	NMX-AA-079-SCFI-2001	Hach DR/2010
Fosfatos	NMX-AA-029-SCFI-2001	Hach DR/2010
Sólidos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2001	Hanna Instruments 9828
Oxígeno Disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001	Hanna Instruments 9828
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	Hach DR/2010
Coliformes totales	NMX-AA-102-SCFI-2006	Hach Millipore

### 4.3. Análisis de muestras

#### Temperatura

La medición de la temperatura se realizó con un equipo multiparametro HI9828, previamente a la medición se calibra el equipo para mayor precisión de los resultados. Según la norma NMX-AA-007-SCFI-2000, siempre que sea posible se debe realizar la medición directamente en el cuerpo de agua de tal manera que el instrumento quede debidamente inmerso, esperar el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes.



### **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El valor del pH es el cologaritmo de la concentración de los iones hidronio, es decir  $([-1] \times \log [H^+])$ . El pH de los cuerpos de agua y el agua residual doméstica, en general, es ligeramente alcalino por la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos. La medición del pH se realizó en el sitio con un equipo multiparámetro HI9828 el cual se calibró previamente para mejores resultados.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en agua en 5 días a 20°C. La DBO no mide un compuesto en especial, sino todos los biodegradables, por vía aerobia; se expresa en mg O<sub>2</sub>/L.

El oxígeno disuelto se midió de igual forma con un equipo electrométrico. El muestreo y preservación de muestras se realizó de acuerdo a lo establecido en las normas NMX-AA-012-SCFI-2001 y NMX-AA-028-SCFI-2001.

### Determinación del OD inicial

La determinación del OD inicial se realizó por medio del método electrométrico con electrodo, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMXAA-012-SCFI. Los aceites, grasas o cualquier sustancia que se adhiera a la membrana puede ser causa de baja respuesta en el electrodo.

### Blanco del agua de dilución.

Emplear un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, incubar un frasco de agua de dilución no sembrada. Determinar el OD inicial y final, el consumo de OD no debe ser mayor de 0,2 mg/L y preferentemente no menor a 0,1 mg/L.



### Incubación

Incubar a 20°C ± 1°C las botellas de DBO<sub>5</sub> que contengan las muestras con las diluciones deseadas, los controles de siembra, los blancos de agua de dilución y el control de glucosa-ácido glutámico.

### Determinación del OD final

Después de 5 días de incubación se determinó el OD en las diluciones de la muestra, en los controles y en los blancos. La medición del OD fue realizada inmediatamente después de destapar la botella, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

### Cálculo

Cuando se emplea una dilución:

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{OD}_i \text{ mg/L} - \text{OD}_5 \text{ mg/L}}{\% \text{ de dilución expresado en decimales}}$$

### **Nitratos**

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas. El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos. Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. Los nitratos se determinaron por medio de un espectrofotómetro de ultravioleta-visible.

### **Fosfatos**

El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas como fosfatos. El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas.



Los fosfatos se determinaron por medio de un espectrofotómetro de ultravioleta-visible en el laboratorio, el muestreo y almacenamiento de muestras se realizó de acuerdo con lo establecido en la norma NMX-AA-029-SCFI-2001.

### **Sólidos Totales**

El agua contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. La determinación de los sólidos totales se llevó a cabo mediante un equipo multiparámetro en sitio.

### **Oxígeno Disuelto**

La concentración de oxígeno disuelto es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua. Sirve como indicador del efecto producido por los contaminantes oxidables, de la aptitud del agua para mantener vivos peces u otros organismos aerobios y de la capacidad autodepuradora de un cuerpo receptor. Se determinó con un equipo multiparámetro.

### **Turbiedad**

La turbiedad es el parámetro que mide que tanto es absorbida o dispersada la luz por la materia suspendida del agua. Ésta condición ocasionada por materia coloidal puede ser el resultado de la presencia de detergentes en el agua, jabones o emulsificadores. Este parámetro se determinó mediante un espectrofotómetro de ultravioleta-visible.

### **Coliformes Totales**

La presencia y extensión de la contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. Dado que la capacidad de algunos miembros del grupo coliforme para sobrevivir en agua es limitada, sus números pueden emplearse también para estimar el grado de contaminación fecal. El análisis de las muestras se realizó por el método de filtración en membrana. De acuerdo con lo establecido en la norma NMX-AA-102-SCFI-2006.



#### 4.4. Análisis Estadístico

Para analizar los datos obtenidos se analizó si los datos tenían un comportamiento normal, posteriormente realizó un análisis de varianza paramétrico para determinar si existen diferencias significativas entre espacio y tiempo. Una varianza grande indica que hay mucha variación y mayores diferencias individuales con respecto a la media; una varianza pequeña nos indica poca variabilidad y diferencias menores entre los sujetos. El objetivo de utilizar el análisis de varianza es describir la relación que hay entre las estaciones monitoreadas y las épocas climáticas del año.

Por último se realizó un análisis de componentes principales el cual es de gran importancia ya que actualmente uno de los principales retos en la evaluación de la calidad de las aguas superficiales es la identificación de las fuentes de contaminación. El análisis de componentes principales proporciona información sobre las variables más significativas que aportan variación de la calidad del agua y permiten la identificación de un número reducido de factores y fuentes latentes de contaminación (Mustapha y Abdu, 2012).

El análisis multivariado de componentes principales es una técnica que permite clasificar la variación fenotípica en sistemas independientes de caracteres correlacionados (Di Masso *et al.*, 2010). Se utiliza con el objetivo de establecer patrones de comportamiento en los sistemas ecológicos (Torriente y Torres, 2010).

Para realizar los análisis estadísticos se utilizaron dos softwares; para análisis de varianza se utilizó R versión 3.0 y para el análisis de componentes principales se utilizó MVSP versión 3.2.





## V. Resultados

Una vez terminado el muestreo, se obtuvo un índice de calidad promedio de 63.94, con lo cual se determinó que el río Cazonen tiene una calidad media. A continuación, se muestran los promedios de cada parámetro (Cuadro 4); así como también, los valores del ICA promedio para cada mes monitoreado (Figura 3).

Cuadro 4 – Promedios obtenidos por época.

Meses	Temperatura (°C)	pH	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Oxígeno Disuelto (% Sat)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	Turbiedad (FAU)	Coliformes Fecales (UFC/100ml)
Secas	26.30	8.21	1.90	4.48	16.30	95.71	153.51	74.09	11
	27.44	7.90	1.32	2.21	17.54	90.70	175.00	92.33	23
	29.00	7.59	1.80	3.76	17.78	92.43	103.56	74.89	16
	29.50	6.60	1.00	2.88	16.91	94.03	91.33	90.00	40
Lluvias	26.79	8.26	4.61	18.13	26.38	96.83	180.67	328.11	140
	27.11	7.31	3.33	11.62	16.53	97.57	127.93	176.08	58
	26.83	6.75	2.47	8.83	16.22	97.20	90.97	124.75	57
	25.78	6.68	2.07	5.52	16.24	97.20	90.97	83.18	38
Nortes	22.68	7.44	3.38	5.65	19.66	96.96	107.02	123.70	55
	18.60	7.60	1.20	4.12	15.76	103.20	102.30	79.54	28
	19.40	7.82	0.20	3.46	11.68	111.40	117.20	12.30	11
	23.16	8.10	0.80	2.48	9.51	98.70	133.40	15.10	15
<b>Promedio</b>	<b>25.22</b>	<b>7.52</b>	<b>2.01</b>	<b>6.09</b>	<b>16.71</b>	<b>97.66</b>	<b>122.82</b>	<b>106.17</b>	<b>41</b>

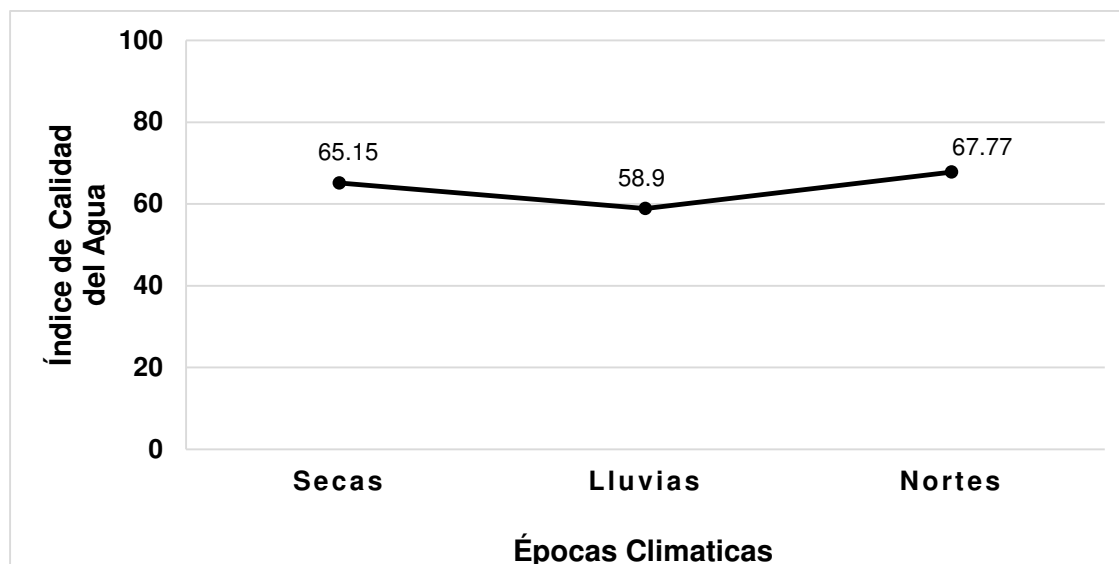


Figura 3 – Índice de calidad promedio por época climática.



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

Como se puede observar en la figura 3, hay fluctuaciones en el índice de calidad de acuerdo a tres estaciones climáticas que son: secas, lluvias y nortes.

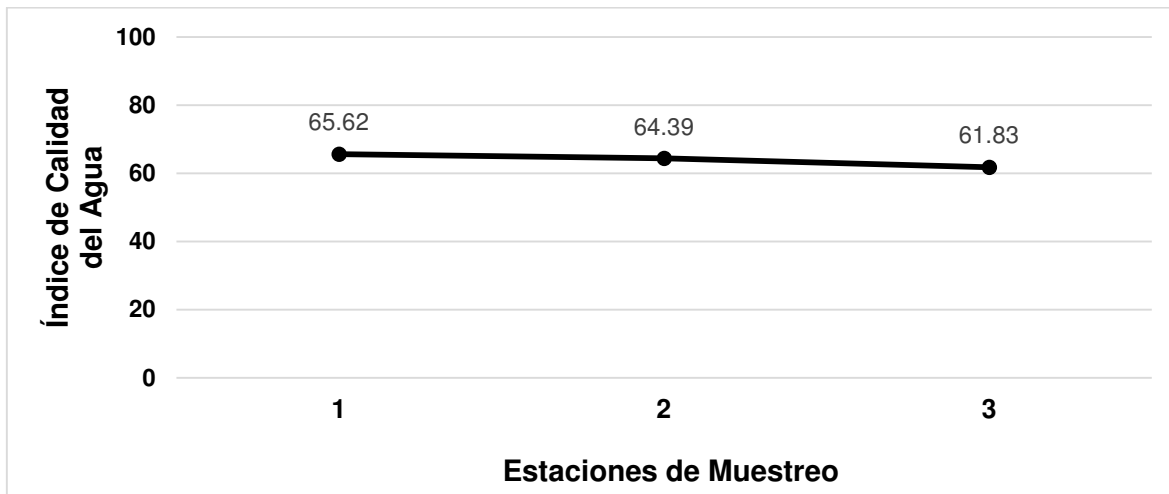


Figura 4 – Índice de calidad promedio por estación.

Como se observa en la figura 4, se registraron cambios del índice de calidad respecto a las estaciones de monitoreo. También se analizó cuáles son los parámetros más bajos de acuerdo a la clasificación del índice de Brown-NSF (figura 5).

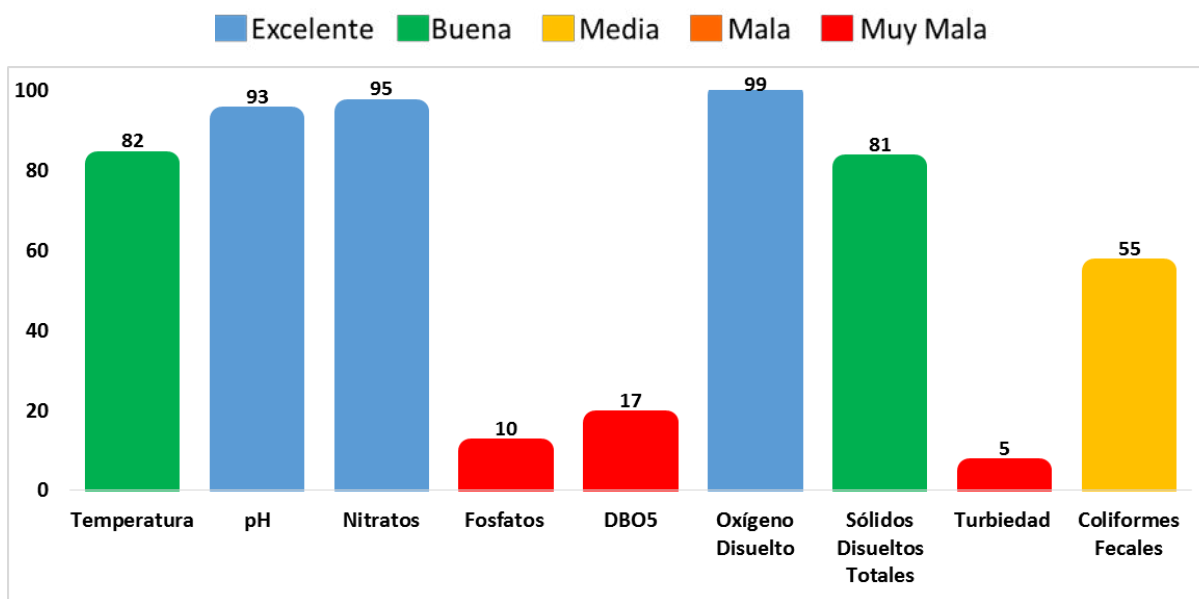


Fig.5. Calidad del agua por parámetro.



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

En el cuadro 5 se muestran los valores promedio obtenidos en comparación con los ideales, de acuerdo con el índice de Brown – NFS.

Cuadro 5-. Valores promedio obtenidos en comparación con los valores ideales.

Parámetro	Reales	Ideales
Temperatura (Dif)	2.5	0.1
pH	7.52	7.5
Nitratos	2.01	0.1
Fosfatos	6.09	0
DBO5	16.71	0.1
Oxígeno Disuelto	97.66	100
Solidos Disueltos Totales	122.82	65
Turbiedad	106.17	0
Coliformes Fecales	41	0

Antes de proceder a realizar el análisis de varianza, se corroboró que los datos tuvieran un comportamiento normal. Como se puede observar en la figura 5, los datos se ajustan a la línea recta, así como también el valor de p es mayor a 0.05 (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Datos descriptivos de prueba de normalidad

Cuenta	108
Promedio	63.9441
Desviación	5.6027
Varianza	31.3905
Curtosis	-0.3909
Sesgo	0.0420
Mínimo	51.0000
Máximo	75.6600
Rango	24.6600
Norm (p-valor)	0.3963

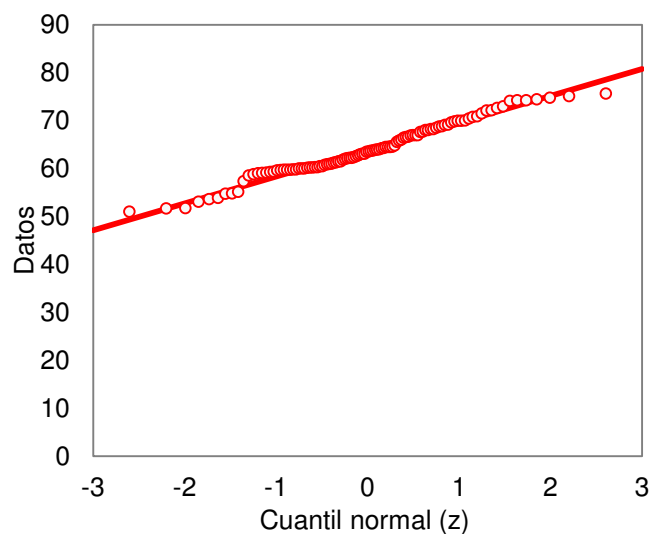


Figura 6. Gráfico de dispersión de prueba de normalidad



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

Al realizar un análisis de varianza para el ICA obtenido por estación, se encontraron diferencias significativas entre las mismas, siendo el valor de  $p = 0.01266$  y el valor de  $F = 4.5563$ . Asimismo, se realizó una prueba de Tukey para conocer las diferencias entre sí.

Cuadro 7. Prueba de Tukey para estaciones de muestreo

<b>Grupos</b>	<b>Valor p</b>
E2 - E1	0.6022
E3 - E1	0.0105
E3 - E2	0.1180

Derivado de lo obtenido en la prueba de Tukey, se observó que no hay diferencias significativas entre estaciones 1 y 2 ni 2 y 3 pero si las hay entre las estaciones 1 y 3.

Para el caso de las épocas climáticas, también se realizó un análisis de varianza, obteniendo un valor de  $p = 3.5 \times 10^{-14}$  y un valor de  $F = 42.22$ . En la prueba de Tukey se obtuvieron los siguientes resultados (Ver cuadro 8).

Cuadro 8. Prueba de Tukey para épocas climáticas

<b>Grupos</b>	<b>Valor p</b>
Nortes – Lluvias	0.0000000
Secas – Lluvias	0.0000000
Secas - Nortes	0.0252577

El valor de  $p$  obtenido en el anova es menor a 0.05 lo cual indica significancia entre las épocas, así como también se observa que entre todas las épocas climáticas hay diferencias significativas (Ver cuadro 7).

Además de los análisis de varianza, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para encontrar cuales son los parámetros que tienen más influencia sobre el índice de calidad del agua y de esta forma poder asociar las posibles fuentes de contaminación.

Los datos revelaron que los 3 componentes principales fueron Turbiedad, Coliformes Fecales y Sólidos Disueltos Totales.



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

En el cuadro 6 se muestran todos los valores obtenidos del análisis de componentes principales, en donde los valores más altos son aquellos parámetros más significativos en el ICA.

Cuadro 9 – Coeficientes de función por parámetro - PCA

	Axis 1	Axis 2
<b>Temperatura</b>	0.015	0.003
<b>pH</b>	0.002	0.01
<b>Nitratos</b>	0.012	0.001
<b>Fosfatos</b>	0.047	-0.013
<b>DBO5</b>	0.040	0.001
<b>Oxígeno Disuelto</b>	0.000	0.046
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	<b>0.247</b>	<b>0.968</b>
<b>Turbiedad</b>	<b>0.892</b>	<b>-0.223</b>
<b>Coliformes Fecales</b>	<b>0.372</b>	<b>-0.106</b>

El parámetro con mayor varianza se observa en el eje 1 (figura 10), y el segundo y tercer parámetro con mayor varianza están en el eje 2.

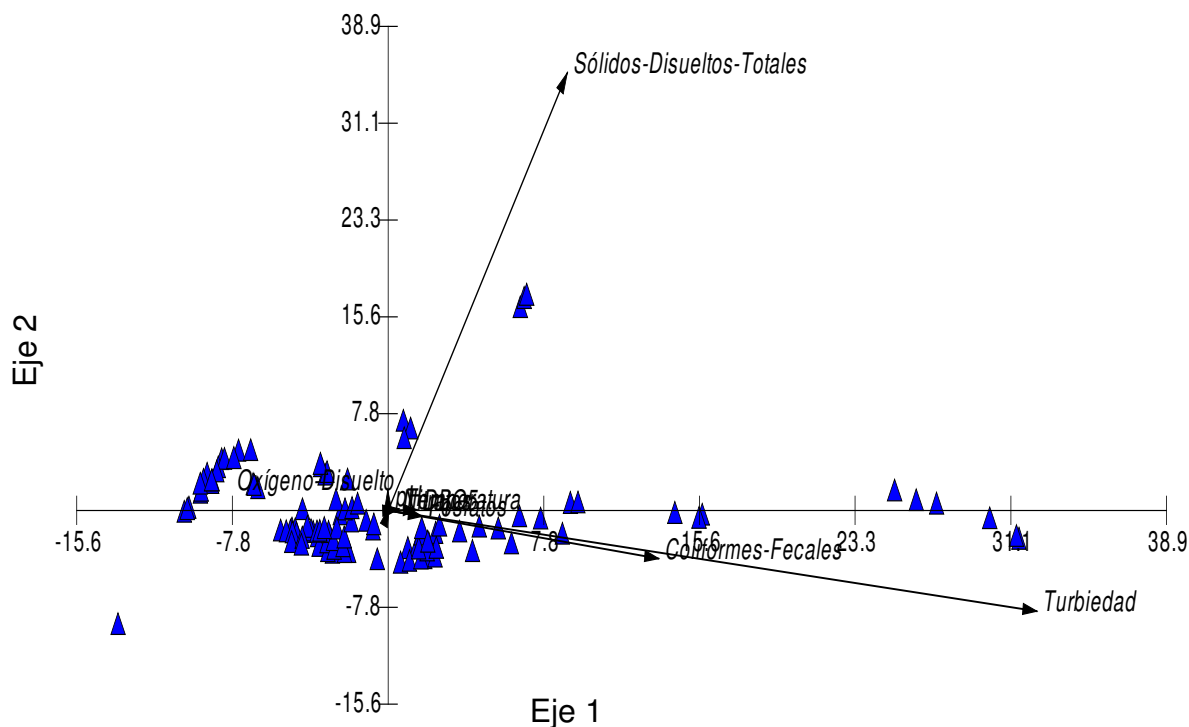


Figura 7 – Gráfico de dispersión - PCA



## VI. Discusión

La disponibilidad de agua no solo depende de la cantidad, sino también de su calidad. No existe una división precisa entre las aguas contaminadas o no contaminadas, ya que la clasificación depende del uso, exigencias higiénicas y grado de avance de la ciencia y tecnología para determinar sus efectos y medir los contaminantes (Jiménez, 2001).

El río Cazones es una cuenca de gran importancia en el estado de Veracruz y son varios los municipios que ocupan el recurso como agua potable; sin embargo, es un río del cual se tienen pocos estudios en cuanto a la calidad del agua. En el presente trabajo se realizó un monitoreo de la calidad del agua del río Cazones en el municipio de Coatzintla a lo largo de un año. La determinación de un índice de calidad del agua supone una fuerte herramienta para la gestión de los recursos hídricos, y de ahí parte la importancia de este tipo de estudios.

En la medición de los parámetros fisicoquímicos, se encontró que el pH del agua se mantuvo la mayor época del año entre 7 y 8, lo cual se considera ideal, según el índice de calidad de Brown; así como también tuvo un excelente porcentaje de saturación de oxígeno en todo el periodo. En cuanto a los fosfatos, éstos deben mantenerse por debajo de 0.5 mg/L para evitar la proliferación de algas (Jiménez, 2001) y durante el periodo muestreado el promedio fue de 6 mg/L, lo cual se considera alto de acuerdo a lo establecido. Por otro lado los nitratos se mantuvieron en un índice bueno, manejando un promedio de 2.0 mg/L. Los coliformes fecales mantuvieron un índice medio oscilando entre los 11 y 140 UFC. La turbiedad y la BDO5 fueron los parámetros más críticos, manejando promedios de 106.7 mg/L y 16.71 mg/L respectivamente, ambos promedios se encuentran por debajo de lo establecido según el índice de Brown.- NFS.

Durante el periodo monitoreado, el río Cazones presentó un ICA general de 65.15, 58.90 y 67.77 en las épocas climáticas de secas, lluvias y nortes respectivamente; derivado de lo anterior se puede decir que el río Cazones en la zona de Coatzintla tiene una mejor calidad del agua de otros ríos de Veracruz, por ejemplo, la microcuenca del



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

río Naolinco, el cual presenta valores más bajos de ICA respecto al río Cazonos. Según los datos de Martínez-Cano (2010), el río Naolinco tiene un ICA de 56.63, 54.39, 64.32 y 56.37 en primavera, verano, otoño e invierno respectivamente; no obstante, en las partes bajas del río se registraron índices hasta de 22.83, lo cual ubica a esta parte del río con una muy mala calidad del agua.

En cuanto a los coliformes fecales, Martínez-Cano (2010), reporta valores hasta de 4 millones/100mL en el río Naolinco, lo cual es excesivamente alto en comparación con los encontrados en el río Cazonos. Respecto al pH, el río Naolinco tuvo valores muy alcalinos, incluso por encima de lo deseado, se encontró en algunas partes de la microcuenca un pH hasta de 10 unidades, por otro lado el río Cazonos generalmente mantuvo un pH entre 7 y 8 unidades, lo cual significa que el río tiene un pH ideas según lo establecido por el índice de Brown – NFS.

El ICA anual promedio del río Cazonos en Coatzintla fue de 63.94, clasificando el agua con calidad media según el índice manejado. En contraste con el estudio de Basáñez-Cobos (2007) se observó una disminución en el ICA ya que en dicho estudio el río presentó en Coatzintla índices de alrededor de 70 unidades, ubicando esta zona con agua de buena calidad. La disminución en el ICA observada en la comparación de los resultados de ambos estudios coincide en fechas con el aumento de actividad petrolera en la región, en especial en el municipio de Coatzintla.

Respecto a ciertos parámetros en particular, en relación al estudio realizado por Basáñez-Cobos (2007) se observó un aumento en la temperatura del agua y la concentración de nitratos y fosfatos, así como también una disminución en el pH; cabe destacar dicho estudio realizó monitoreo en Coatzintla, Poza Rica y Cazonos, observándose una disminución del ICA conforme avanza el río. Derivado de lo anterior, se puede decir que el río tiene un menor ICA en los municipios de Tihuatlán y Cazonos; sin embargo, las tomas de agua potable de los tres municipios mencionados se encuentran en Coatzintla, entonces, 331,439 personas (INEGI, 2010) son abastecidas



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

con el agua del río Cazonos al pasar por Coatzintla, y esta es una de las razones por la cual es de suma importancia conocer la calidad del agua del río Cazonos en este punto.

En 2010 un estudio realizado por Carrillo y Villalobos, (2011) durante 3 meses, determino que el índice de calidad del río Cazonos era de 62.58, este estudio también monitoreo la calidad del agua del río Tecolutla durante el mismo lapso, el cual presentó un ICA de 67.72; sin embargo, el río Tecolutla presentó valores más altos de DBO<sub>5</sub>, en comparación con el río Cazonos, así como también mostró una mayor concentración de oxígeno disuelto, un pH más neutro y una menor cantidad de coliformes fecales.

En 2007, Arriaga-Gaona *et al.*, (2009), realizó un estudio de la calidad del agua del río Tecolutla durante un periodo semestral, en el cual se determinó el ICA con un valor de 55 en promedio; dicho resultado es menor al encontrado en 2010 por Carrillo y Villalobos (2011), la diferencia entre ambos estudios puede atribuirse al tiempo de monitoreo y/o la época climática.

Durante el periodo monitoreado de apreciaron cambios del índice de calidad en relación a las épocas climáticas manejadas; así como también se observó un decremento considerable de la calidad del agua debido a la presencia de la tormenta tropical Barry la cual tuvo presencia del 17 – 21 de julio (Valdivia-García, 2014), la cual arrastró gran cantidad de sedimentos d por ende un aumento en la concentración de sólidos disueltos totales y la turbiedad.

Una vez realizado el análisis de varianza se encontró que hay diferencias significativas entre las estaciones de monitoreo. Según la prueba de Tukey, las diferencias son respecto a las estaciones 1 y 3, lo cual fue un resultado esperado considerando que en la estación 1 no hay descargas de tipo industrial ni municipal a diferencia de la estación 3, que se ubica después de la zona industrial del municipio y después de algunas descargas de aguas residuales municipales; sin embargo, con el análisis de componentes principales se determinó que los dos parámetros con más influencia sobre el ICA fueron la turbiedad y los coliformes fecales.





## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

Los sólidos disueltos totales y la turbiedad son los dos parámetros de mayor influencia sobre el ICA, siendo los sólidos disueltos totales los que describan el 96.8% de los datos y la turbiedad el 89.2%; entonces, la calidad del agua del río Cazonos se atribuye principalmente la presencia de sólidos que le dan una alta turbiedad al agua, mismos que son arrastrados desde la parte alta de la cuenca.

Al analizar los promedios anuales de cada parámetro se observa que los parámetros más críticos en cuanto a la calidad del agua son fosfatos, DBO<sub>5</sub> y turbiedad; no obstante, a pesar de la alta concentración de fosfatos, éstos no resultaron ser uno de los componentes principales ya que la varianza a lo largo del monitoreo no fue tan grande como la de turbiedad, sólidos disueltos totales y coliformes fecales. Cabe recordar que el objetivo de determinar los componentes principales fue encontrar aquellos parámetros que tengan mayor influencia en el ICA. A mayor varianza incorporada en cada una de estas componentes, implica que la misma contiene una mayor cantidad de información. Las componentes con menor varianza son las de menor interés probabilístico (Montanero, 2008).

Según información proporcionada por la Comisión municipal del agua de Coatzintla, se ha observado que en algunos meses el pH se encuentra por debajo de 7, lo cual lo atribuyen principalmente a las actividades de agricultura en las partes altas de la cuenca en el estado de Puebla; tomando en cuenta, las altas concentraciones de fosfatos registrados en algunos meses, es posible que la disminución de pH este asociada al uso de fertilizantes fosforados, los cuales tienen la capacidad de bajar el pH del suelo, entonces, al ser arrastrado el sedimento en época de lluvias, el pH del agua también tiende a bajar.

A pesar de los estudios realizados en el río Cazonos, la comisión municipal del agua no tiene datos actuales sobre las condiciones del río, esto es, porque sólo se miden algunos parámetros como pH y temperatura, y generalmente lo hacen con las muestras del grifo y no directamente en el cuerpo de agua. En el mapa digital de la comisión nacional del agua se puede obtener información sobre la calidad del agua superficial,



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

dicha calidad está determinada en función de dos parámetros que son la DBO<sub>5</sub> y los sólidos suspendidos totales (Anexo 2); de acuerdo con la clasificación de CONAGUA, los ríos tienen excelente calidad cuando la DBO<sub>5</sub> es menor a 3 mg/L, buena cuando esta entre 3 y 5 mg/L, aceptable cuando esta entre 6 y 30 mg/L, contaminada de 30 a 120 mg/L y fuertemente contaminada cuando supera los 120 mg/L; cabe destacar que de acuerdo al índice de calidad de Brown-NSF respecto a este parámetro, cuando el agua tiene 3 mg/L maneja un índice de 67, el cual baja hasta 51 cuando el agua tiene 5 mg/L; entonces, lo que se considera excelente para la CONAGUA en México, resulta ser de calidad media para escalas internacionales como el índice de Brown-NSF.

Al buscar en el mapa digital de CONAGUA el río Cazonos, aparecen en éste, dos estaciones de monitoreo, una en el municipio de Poza Rica, en el puente Cazonos I y otra en el municipio de Cazonos, estas dos estaciones aparecen en el mapa como monitores de calidad del agua; sin embargo, en otros documentos de CONAGUA aparecen como estaciones hidrométricas, las cuales solo miden niveles de agua y caudales. Respecto a lo anterior, se puede decir que hay información contradictoria.

En cuanto a la calidad del agua del río Cazonos, el mapa digital muestra que de acuerdo a la DBO<sub>5</sub>, el río tiene una “buena calidad” ya que maneja un promedio por debajo de los 5 mg/L, lo cual contradice todos los estudios realizados anteriormente en el río Cazonos. Hasta el momento no se tiene evidencia de que se hayan registrado valores de DBO<sub>5</sub> mayores a 30 mg/L, que lo ubique como un río contaminado pero tampoco se han registrado valores menores a 5 mg/L que categorice el agua como de buena o excelente calidad.

Otro documento estadístico de CONAGUA (Anexo 2) menciona que en el 2008, 2009 y 2010, el 80% de los ríos de Veracruz presentaron una DBO<sub>5</sub> menor a 3 mg/L lo cual afirma que durante ese tiempo, el 80% de los ríos de Veracruz tenían agua de excelente calidad, y esto es contradictorio a las estadísticas mostradas en 2011, en donde se asegura que el 70% de los ríos están contaminados; así mismo, durante el mismo periodo 2008-2010 se muestra que para la región de la península de Yucatán el



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

100% de los ríos manejaron una DBO<sub>5</sub> menor a 3 mg/L concluyendo que todos los ríos de Yucatán tienen excelente calidad.

Derivado de lo antes mencionado, se observa una incongruencia y contradicción de los datos proporcionados por la comisión del agua, además de una notable falta de comunicación entre los mandos, ya que los datos que maneja la comisión estatal no llegan a la comisión de agua municipal, así como también los datos que se publican a nivel nacional no coinciden con los publicados en niveles más bajos de gobierno.

A pesar de que el río Cazonos pasa por zonas de gran actividad industrial, su calidad es media y los valores de los parámetros no reflejan una contaminación alta en comparación con otros ríos que también atraviesan zonas industriales, por ejemplo, el río Lerma, en el cual se encontró en 2005 que tenía un pH de 5.5, lo cual lo categoriza como un río ácido, también presentó durante el mismo año valores de sólidos disueltos totales desde 400 mg/L en temporada de lluvias hasta 1980 mg/L en temporada de secas (Fall *et al.*, 2006); así como también se registró el oxígeno disuelto casi agotado con valores menores a 0.5 mg/L a lo largo del río cuando el río Cazonos maneja una concentración promedio de 8 mg/L de oxígeno disuelto y saturación de más del 95%.

Es importante mencionar que se determinó la calidad del agua de acuerdo al índice de Brown-NFS, el cual incluye 9 parámetros; no obstante, dicho índice discrimina algunos parámetros que serían de gran importancia para el río Cazonos como lo son las grasas y aceites y los hidrocarburos totales. Aoyama (1997) determinó que la concentración de grasas y aceites no sobrepasaba los 3 mg/L y Basáñez-Cobos (2007) encontró que dicha concentración llegaba hasta los 50 mg/L. Derivado de lo anterior, se puede decir que es de vital importancia dar continuidad al monitoreo del río Cazonos en cuanto a calidad del agua, ya que por su ubicación geográfica, la explotación de petróleo y los constantes derrames de crudo registrados en la zona, la determinación de los parámetros antes mencionados podrían mostrar evidencia de que la contaminación del río Cazonos también está asociada al contenido de hidrocarburos tanto en agua como en sedimento.



## VII. Conclusiones

Los valores de los parámetros medidos reflejaron un índice de calidad del agua de 63.94 unidades, lo cual, de acuerdo con el índice de Brown-NSF indica “Calidad Media”; asimismo, se mostraron diferencias significativas tanto en épocas climatológicas como entre las estaciones muestreadas, obteniendo índices más altos en la época de nortes, seguido de la época de secas y por último la época de lluvias.

Los parámetros con mayor influencia sobre el índice de calidad del agua del río son los sólidos disueltos totales, la turbiedad y los coliformes fecales. Derivado de lo anterior se atribuye la calidad del río cazones, al arrastre de sólidos provenientes de las partes altas de la cuenca, sobre todo en las épocas de lluvia. La alta concentración de sólidos disueltos tiene como resultado una alta turbiedad del agua.

Los estudios anteriores en comparación con este estudio reflejaron una disminución del índice de calidad, concluyendo que se ha presentado un deterioro en el recurso hídrico en los últimos años; además, se encontraron inconsistencias entre los datos manejados por la comisión del agua en sus distintos órdenes de gobierno, lo cual refleja falta de comunicación y una gran necesidad de generar información actual y significativa para un mejor manejo y gestión del agua.

Es importante darle continuidad al monitoreo de la calidad del agua del río Cazones ya que hay parámetros importantes como los hidrocarburos totales y las grasas y aceites, los cuales tienen gran importancia ya que el río está en una zona de desarrollo para la industria petrolera.



## VIII. Bibliografía

Abbasi, S.A. 2002. Water quality indices, state of the art report, National Institute of Hydrology, scientific contribution no. INCOH/SAR-25/2002, Roorkee: INCOH, pp 73.

Aoyama Argumedo, C. 1997. Evaluación físico química de la calidad del agua del Río Cazones, a su paso por el estado de Veracruz. Tesis. Universidad Veracruzana. México.

Arriaga-Gaona M.L., Hernández-Limón L., Sandoval-Reyes F., Vera-Lara J., Vargas-Moreno E., García-Roja L. 2009. Monitoreo de la calidad del agua del río Tecolutla desde Coyutla hasta Gutierrez Zamora, Ver. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 5( 2): 141-147.

Basáñez-Cobos. P., Cortes O. B., Hernández R. J., Romo E. R. 2007. Plan de Acción para mitigar la contaminación del río Cazones en el tramo Coatzintla – Cazones, Ver. Tesis. Universidad Veracruzana. México.

Bharti N, Katyal. 2011. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. International Journal of Environmental Sciences 2(1):.

Bricker, O.P., Jones, B.F. 1995. Main factors affecting the composition of natural waters. In: Salbu, B., Steinnes, E. (Eds.), Trace Elements in Natural Waters. CRC Press, Boca Raton.

Bricker, O.P., Jones, B.F., 1995. Main factors affecting the composition of natural waters. In: Salbu, B., Steinnes, E. (Eds.), Trace Elements in Natural Waters. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1e5.

Carrillo-Castro, A.G. Villalobos-Alcazar, R. 2011. Análisis comparativo de los índices de calidad del agua los ríos Tecolutla y Cazones en el periodo marzo-diciembre 2010. Tesis. Universidad Veracruzana. México



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

Consejo del sistema veracruzano del agua. 2005. Programa hidráulico estatal. Veracruz.

Fall, C., Hinojosa-Peña, A., Carreño-de-León, M.C. 2006. Design of a monitoring network and assessment of the pollution on the Lerma river and its tributaries by wastewaters disposal. *Science of the total environment*. **373**. P 208-219.

Galindo, J.A., Vázquez-Castán, L., Cruz-Lucas, M.A., López-Ortega, M., San Martín del Angel, P. 2005. Contaminación en el río Cazonos, Veracruz durante el periodo octubre 2004-junio 2005. *Revista UDO Agrícola*. **5**. p 74-80. México

Goudie, A. *The Human Impact on the Natural Environment*, Blackwell, Oxford, 2000.

Jiménez, B. E. 2001. *La Contaminación Ambiental en México – Causas, Efectos y Tecnología Apropriada*. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA.

Khan, F., Husain, T. and Lumb, A. 2003. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada, *Environmental Monitoring & Assessment*, **88**, pp 221–242.

Lara Domínguez, A.L. 2011 Recursos Hídricos. Resumen Vol. I: 285-287. In: *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C.

Martínez-Cano. A. K. 2010. Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Naolinco, Veracruz (2009-2010). Tesis. Universidad Veracruzana. México.

Méndez Sayago, J.A. y Méndez Sayago, J.M. 2010. “Utilización del agua ¿instrumento de asignación eficiente del agua o mecanismo de financiación de la gestión ambiental?. *Estudios Gerenciales*. **26**, n.115, pp. 93-115.

Montanero Fernandez, Jesus. 2008. *Análisis Multivariante*. Universidad de Extremadura.



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

---

Perez-Maqueo, O. M., Muñoz-Villers, L.R., Vazquez G., Equihua Zamora, M.E., León Romero, P. 2011. Hidrología. La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Vol. I. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C.

Perez-Maqueo, O. M., Muñoz-Villers, L.R., Vazquez G., Equihua Zamora, M.E., León Romero, P. 2011. Amenazas a los recursos hídricos. La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Vol. I. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C.

Programa Hídrico Regional Visión 2030. 2012. Comisión Nacional del Agua. México.

Samboni, N. Carvajal, Y. Escobar, J. 2007. Parámetros Fisicoquímicos como Indicadores de Calidad y Contaminación del Agua, Estado del Arte.,” Ingeniería e Investigación, **27**, pp. 172 – 181.

SEDUE (Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología). 1985. Sistema de Información Ecológica a Nivel Paisaje Terrestre para la Cuenca del Río Cazonos. Instituto Nacional de Ecología. México.

Shrestha S, Kazama F. 2007. Assessment of water quality using multivariate statistical techniques: A case study of Fuji river basin, Japan. Environmental Modeling and Software, **22**, pp 464-475.

Singh, K., Malik, A., Sinha, S. “Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques – a case study.” Analytica Chimica Acta, **538**, pp. 355-374. 2005

UNESO/WHO/UNEP, 1992. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition.



## “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonces en Coatzintla, Ver”

---

Vazquez-Botello, Villanueva-Fragoso, Rosales-Hoz. 2004. Distribución de metales pesados en el Golfo de México. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Instituto Nacional de Ecología.





### Anexo 1

A continuación se muestran las curvas de valoración utilizadas para el cálculo del ICA.

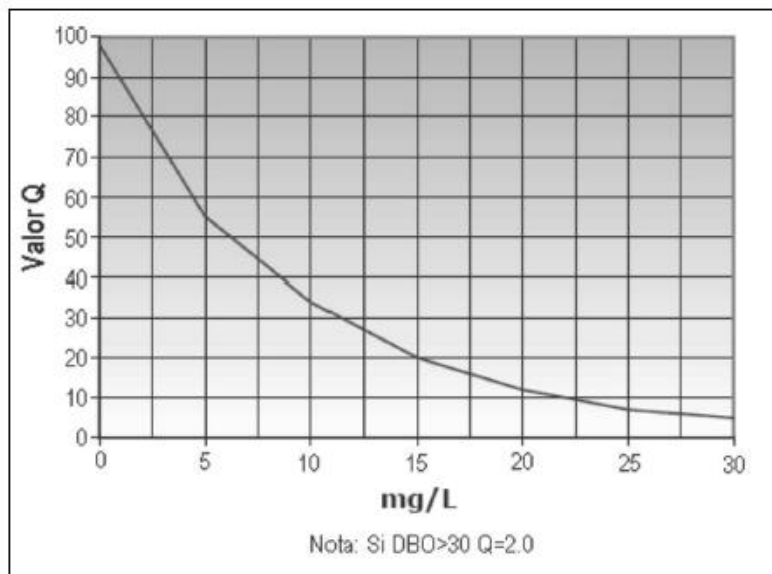


Figura 8. Curva de calidad DBO.

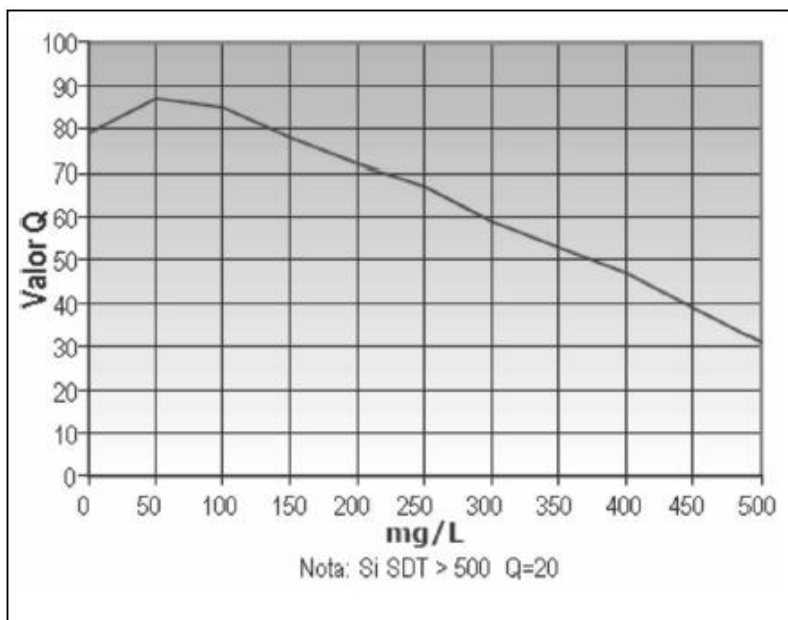


Figura 9. Curva de calidad de sólidos disueltos totales.



# “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

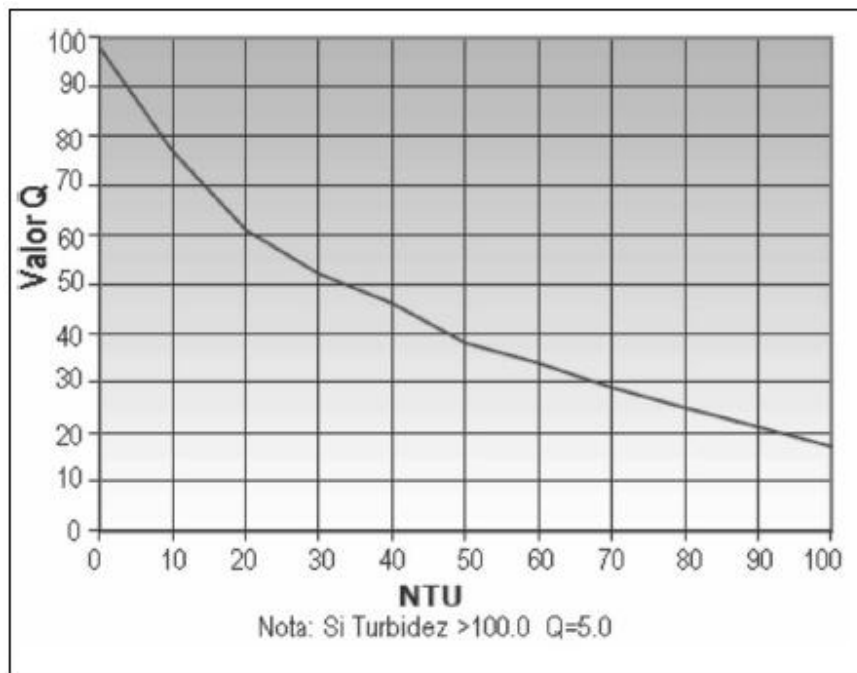


Figura 10. Curva de calidad de turbiedad.

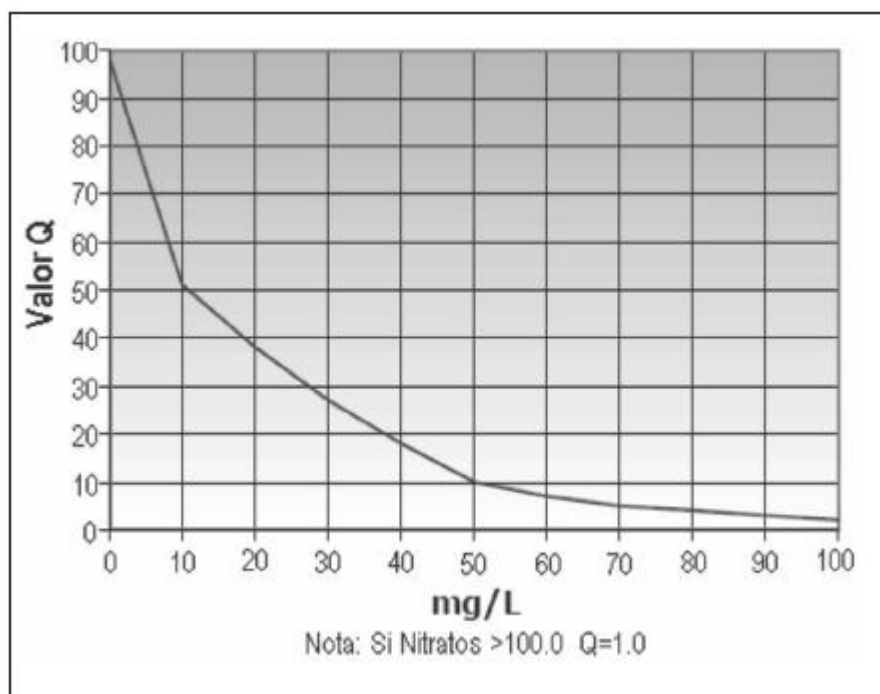


Figura 11. Curva de calidad de nitratos.



# “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

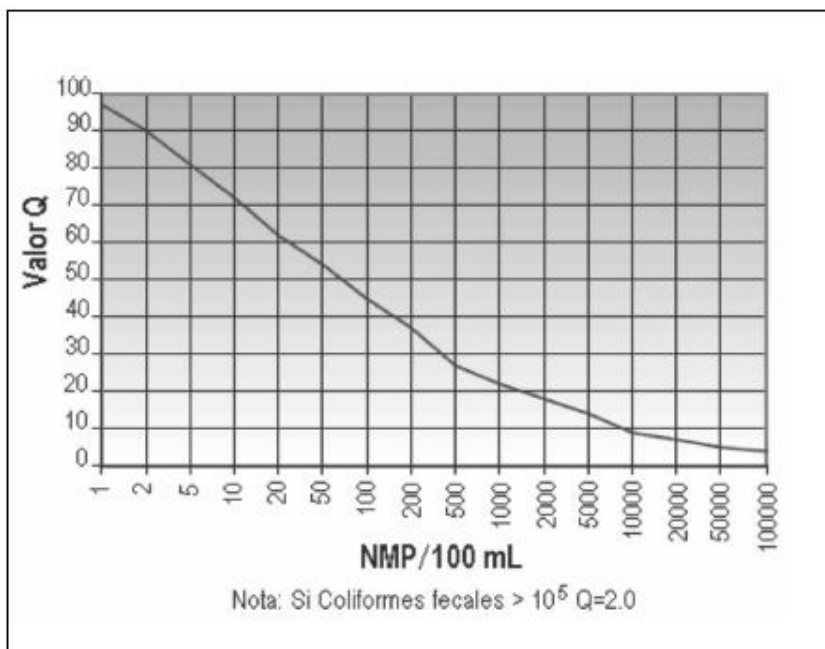


Figura 12. Curva de calidad de coliformes fecales.

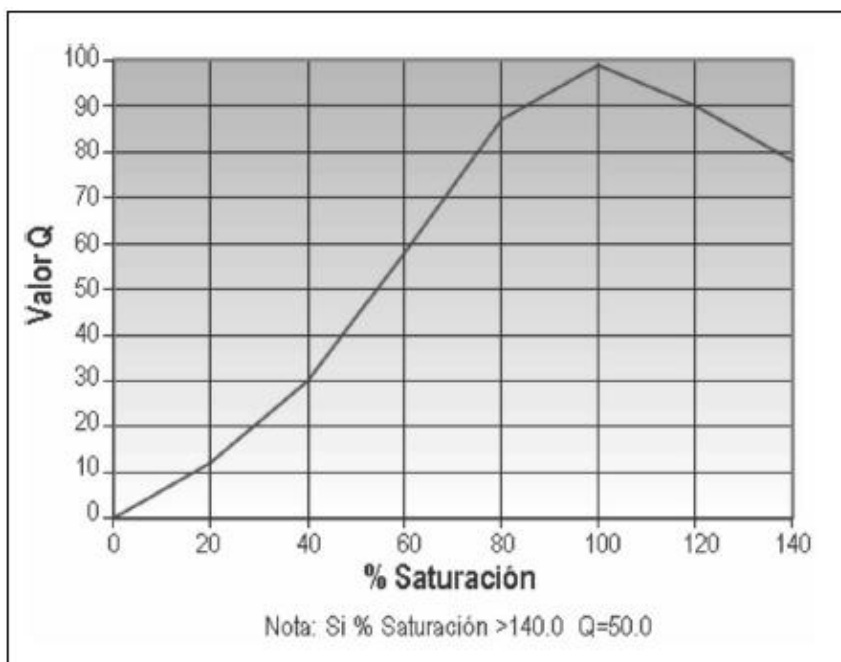


Figura 13. Curva de calidad de sólidos disueltos totales.



# “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

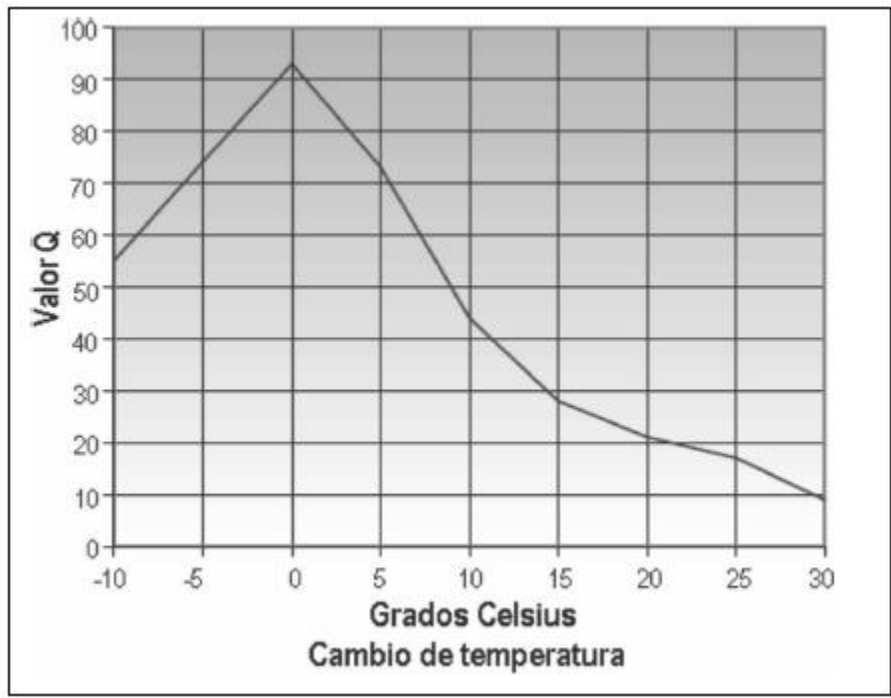


Figura 14. Curva de calidad de pH.

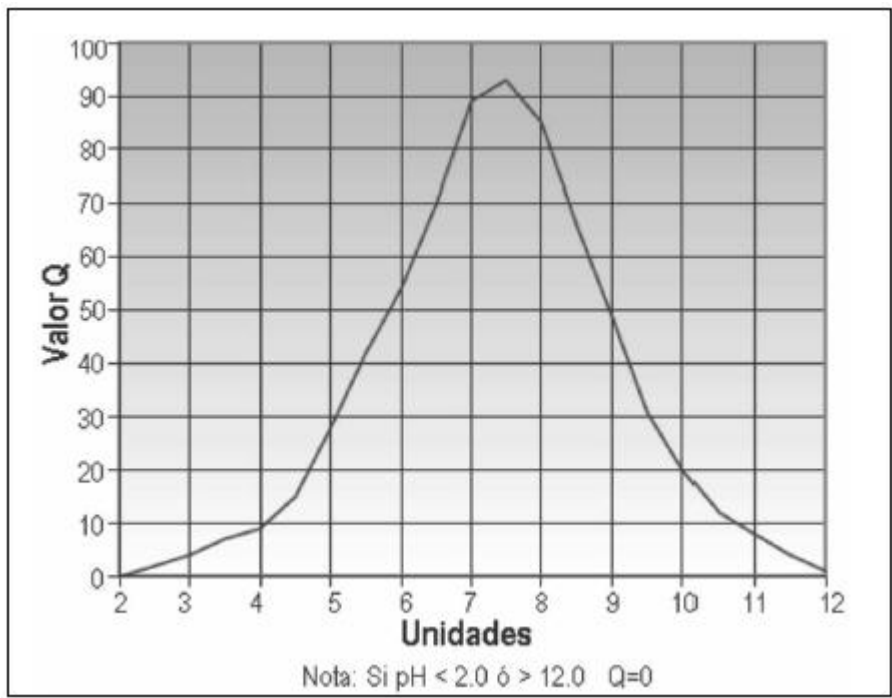


Figura 15. Curva de calidad de temperatura.



# “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

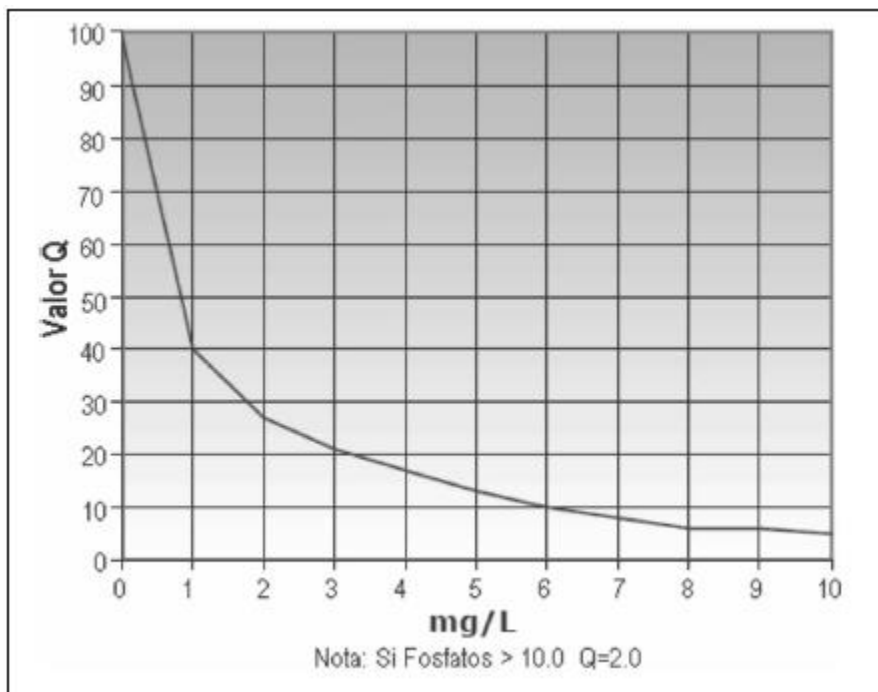


Figura 16. Curva de calidad de fosfatos.



# “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver”

## Anexo 2

Imágenes del mapa digital del CONAGUA.

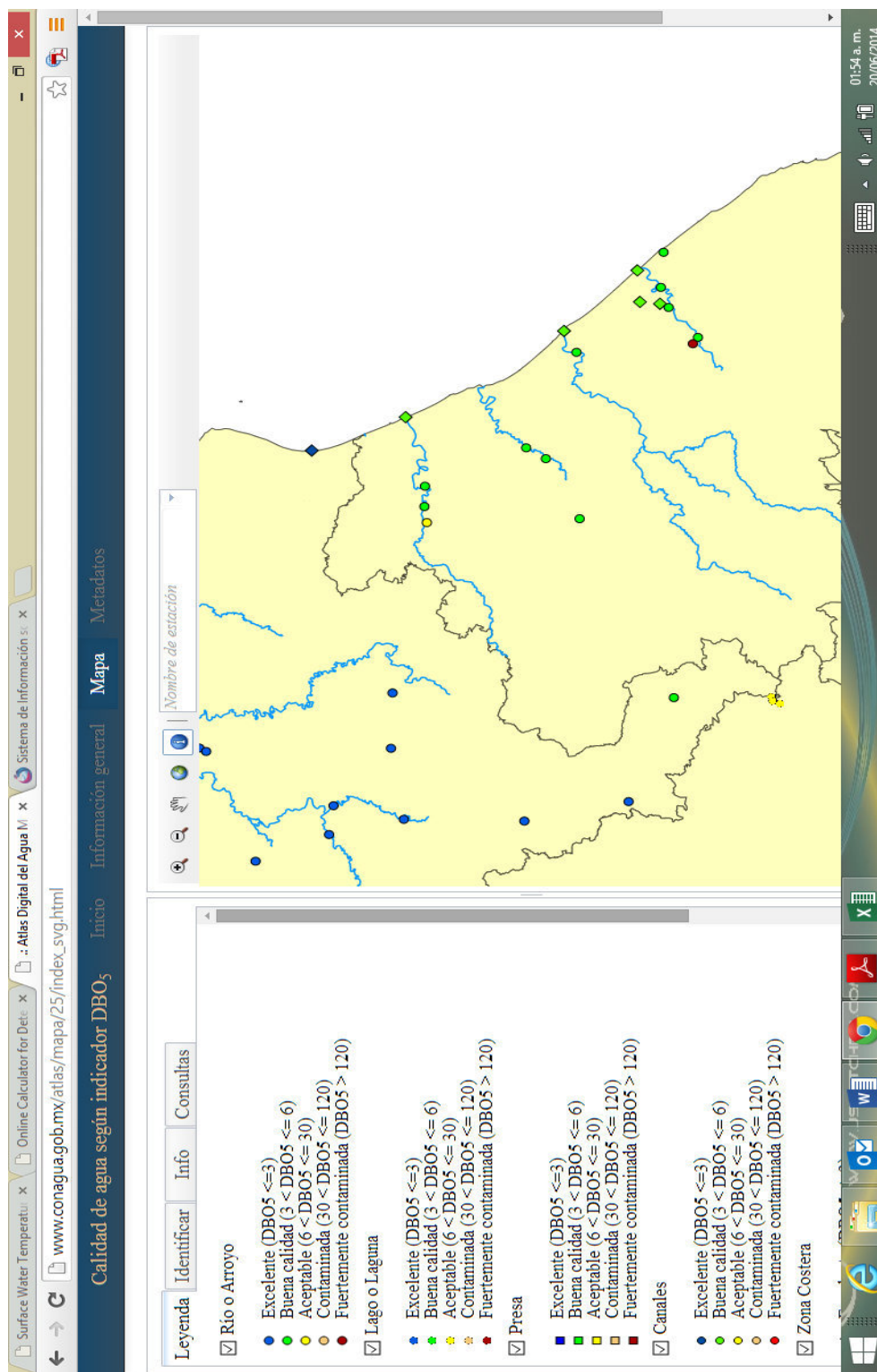
The screenshot shows a web-based digital map interface for CONAGUA. The map displays a network of rivers in blue on a yellow background. A search bar at the top left contains the text "Nombre de estación". Below the map, a data table provides details for the selected station, SSGC-030. The table includes fields for station number, name, state, keys, region, body of water, municipality, and biochemical oxygen demand (BOD5).

Número de estación	SSGC-030
Nom. de estación (Río Hidrométrica)	Puente Cazonos (Estacion Hidrométrica)
Estado	Veracruz
Clave de RHA	X
Clave de RH	27
Nombre Región Hidrológica	Norte de Veracruz
Cuerpo de Agua	Río Cazonos
Municipio	Poza Rica de Hidalgo
Clave del municipio	30175
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	5

Navigation and utility icons are visible at the bottom of the interface, including a search icon, a list icon, and a close icon. The browser's address bar shows the URL: [www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/25/index\\_svg.html](http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/25/index_svg.html). The page title is "Calidad de agua según indicador DBO<sub>5</sub>".



# “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”





# “Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonen en Coatzintla, Ver”

Documento que señala la calidad del agua de los ríos por región hidrológica (2008-2010).

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	2008										2009										
	ESTACIONES DE MONITOREO POR CATEGORÍA DE LA DEMANDA DE DBO <sub>5</sub>					ESTACIONES DE MONITOREO POR CATEGORÍA DE LA DEMANDA DE DBO <sub>5</sub>					ESTACIONES DE MONITOREO POR CATEGORÍA DE LA DEMANDA DE DBO <sub>5</sub>					ESTACIONES DE MONITOREO POR CATEGORÍA DE LA DEMANDA DE DBO <sub>5</sub>					
	< 3 mg/L	3-6 mg/L	6 a 30 mg/L	30-120 mg/L	> 120 mg/L	< 3 mg/L	3-6 mg/L	6 a 30 mg/L	30-120 mg/L	> 120 mg/L	< 3 mg/L	3-6 mg/L	6 a 30 mg/L	30-120 mg/L	> 120 mg/L	< 3 mg/L	3-6 mg/L	6 a 30 mg/L	30-120 mg/L	> 120 mg/L	
I Península de Baja California	25	8.3	50	12.5	4.2	24	27.3	9.1	45.5	13.6	4.5	22	31.8								
II Noroeste	60	10	20	5	5	20	50	26.5	23.5	0	0	34	51.3								
III Pacífico Norte	68.3	14.6	14.6	2.5	0	41	70.7	12.2	17.1	0	0	41	70.7								
IV Balsas	32.7	20.7	32.8	8.6	5.2	58	16.6	23.8	41.7	13.1	4.8	84	38.8								
V Pacífico Sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0								
VI Río Bravo	23.9	54.3	17.4	4.4	0	46	48.6	46.2	2.6	2.6	0	78	29.1								
VII Cuencas Centrales del Norte	85.7	9.5	4.8	0	0	21	90	10	0	0	0	20	80.0								
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	40.4	14.4	24.2	19	2	153	48.7	9.3	24	12.7	5.3	150	45.0								
IX Golfo Norte	80.5	12.2	4.9	2.4	0	41	80.9	11.9	4.8	2.4	0	42	83.7								
X Golfo Centro	0	74.4	18.6	4.7	2.3	43	0	70.3	13	11.1	5.6	54	0.0								
XI Frontera Sur	21.8	71.9	6.3	0	0	32	0	86.1	13.9	0	0	36	27.8								
XII Península de Yucatán	100	0	0	0	0	14	90	0	10	0	0	20	100.0								
XIII Aguas del Valle de México	4	0	28	20	48	25	4.2	0	20.8	25	50	24	3.7								

Nota: 4