

# ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL DEL PARQUE NACIONAL NEVADO DE TOLUCA, PARA EL AÑO 2006

ERIC EDMUNDO ROJAS MERCED<sup>1</sup>, MA. EUGENIA VALDEZ PÉREZ, PATRICIA MIRELES LEZAMA<sup>2</sup>, ARMANDO REYES ENRÍQUEZ<sup>3</sup> Y JESÚS PASTOR MEDRANO<sup>4</sup>

## Resumen

En la presente investigación se realizó el análisis para estimar la cantidad de agua producida por el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT), en el periodo octubre-noviembre del 2006 a partir de la medición del caudal de las principales corrientes de 25 microcuencas, así como la obtención de parámetros físicos y químicos medidos en campo y muestras analizadas en laboratorio para determinar la calidad de ésta; dicho trabajo revela la cantidad de agua producida por microcuenca en m<sup>3</sup>/seg, así como las características en que se encuentra el recurso agua en relación con los parámetros establecidos por las Normas Mexicanas NMX. Este trabajo forma parte del proyecto de investigación 2028/2005 financiado por la Universidad Autónoma del Estado de México.

Palabras clave: Parque Nacional Nevado de Toluca, microcuenca, calidad de agua, cantidad de agua, parámetros.

## Abstract

*In the present investigation has been realized the analysis was made to estimate the quantity of water produced in the main currents of the National Park Nevado de Toluca, in the period october-november 2006, from the measuring of the main currents of the 25 microrivers basins that integrate it, as well as the obtaining of chemical and physical parameters measured in field and samples analyzed in laboratory to determine the quality of this. This investigation based in the previous analysis reveals the quantity of water produced by microrivers basins in m<sup>3</sup>/sec. as well as the characteristics of the resource water in relation to the parameter established by the Mexican norms (NMX). This work is part of the investigation project 2028/2005 financing for the Universidad Autónoma del Estado de México.*

*Key words: Parque Nacional Nevado de Toluca, microrivers basins, quality of water, quantity of water, parameter*

- 
- 1 Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México.
  - 2 Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México.
  - 3 Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México.
  - 4 Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México.

## 1. Introducción

El Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT), forma parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, desde su decreto 1936 bajo administración del Gobierno Federal; sin embargo, para 1995 su administración fue transferida al Gobierno del Estado de México, quien a su vez la cedió a la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF) de la entonces Secretaría de Ecología. En el convenio de transferencia se aclara que los trabajadores de la SEMARNAP-INE, continuarán apoyando al Gobierno del Estado de México. (DOF, 1995)

El Parque está delimitado siguiendo la cota 3000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), cuenta con una superficie de 53,912.83 hectáreas, (tomando como base la carta topográfica escala 1:50,000) se localiza entre 18°51'31" y 19°19'03" de latitud Norte, y entre 99°38'54" y 100°09'58" de longitud Oeste, en el Estado de México, abarcando los municipios de Almoloya de Juárez, Amanalco, Calimaya, Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenango del Valle, Toluca, Villa Victoria, Villa Guerrero y Zinacantepec. (Conabio, 2004)

El PNNT está constituido por el Volcán Nevado de Toluca y el Volcán San Antonio, ambos son Volcanes inactivos, localizados al SW de la Ciudad de Toluca, capital del Estado de México, forman parte del Sistema Volcánico Transversal. El Nevado de Toluca es la cuarta montaña más alta de México, con un rango de altitud entre 3000 y 4680 m.s.n.m. (Soberón y otros, 2002)

El parque representa una de las fuentes más importantes de servicios ambientales para el Valle de Toluca, tales como: calidad al aire y del agua, mantenimiento de la biodiversidad, regulación de mecanismos de control biológico, provisión de biomasa y captación de agua. Es el parteaguas de dos de las cuencas hidrológicas más importantes de nuestro país: Lerma-Chapala-Santiago y Balsas, el parque carece de la caracterización del agua que produce a una escala adecuada, que permita la estimación de dichos servicios ambientales y la conservación de los ecosistemas naturales. (Franco y Rodríguez, 2003)

De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales, en su artículo 3º, se define a la cuenca hidrológica como la unidad del territorio, delimitada por un parteaguas o divisoria de las aguas - aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad -, en donde escurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal. En este espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con éstos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos; está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas integradas por microcuencas.

## 2. Metodología

Para obtener la estimación del agua que produce el PNNT, se hizo acopio de la información documental existente del mismo, así como de estudios similares en otras zonas; y se optó por aplicar las siguientes metodologías:

De acuerdo al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) la escala 1:50,000 permite obtener la caracterización del territorio con suficiente detalle para realizar planeación del territorio con el fin de establecer el manejo de zonas homogéneas e identificar las zonas que requieran estudios a más detalle por la complejidad que presentan o un nivel mayor de explotación o manejo intensivo.

Para realizar la estimación de producción de agua superficial del PNNT, se hizo la delimitación del parteaguas de las subcuencas y de las microcuencas en mapas topográficos escala 1:50,000 (INEGI, 1997 y 1998) incorporando además el marco hidrológico del INEGI de la carta de aguas superficiales escala 1:250 000 (SPP, 1983), que comprende dos Regiones Hidrológicas, tres Cuencas y siete Subcuencas, así mismo se le añadió el nombre a las microcuencas en función de los nombres de las corrientes principales dentro de cada subcuenca tributaria; mediante recorridos de campo apoyados con ortofotos escala 1:20,000, se ajustaron los parteaguas, comprobando la orientación del flujo de los escurrimientos.

Para analizar las órdenes de la red hidrológica del Parque, se delimitaron las 25 microcuencas que lo integran, se determinaron las relaciones existentes entre los causes y los materiales por donde pasan, así como la evolución del modelo del cause en todo su recorrido. En la clasificación de las órdenes de las corrientes, se utilizó la metodología de Strahler-Schumm, el cual se basa en la ordenación de las corrientes de agua, aumentando el orden en función del crecimiento del número de tributarios, de tal manera que el número de corrientes de orden sucesivamente inferior aumenta en progresión geométrica. (Parras y otros, 2003)

Una vez delimitadas las microcuencas, se determinó la corriente más importante a la cual se le mediría el caudal para obtener el volumen de agua. El muestreo se realizó entre el 2 de Octubre y el 22 de Noviembre del 2006 para la obtención de muestras y su posterior análisis en el Laboratorio y así determinar la calidad del agua.

El método utilizado para el cálculo de volumen de arroyos, fue el propuesto por el Departamento de Agricultura de la FAO (1997), el cual consiste en la medición de la media de la corriente (calculando la velocidad que tarda en recorrer una distancia conocida una pelota de unicel de 5 centímetros de diámetro) y del área de la sección transversal del canal, aplicándose la siguiente fórmula:

Mapa 1. Red hidrológica del Parque Nacional Nevado de Toluca

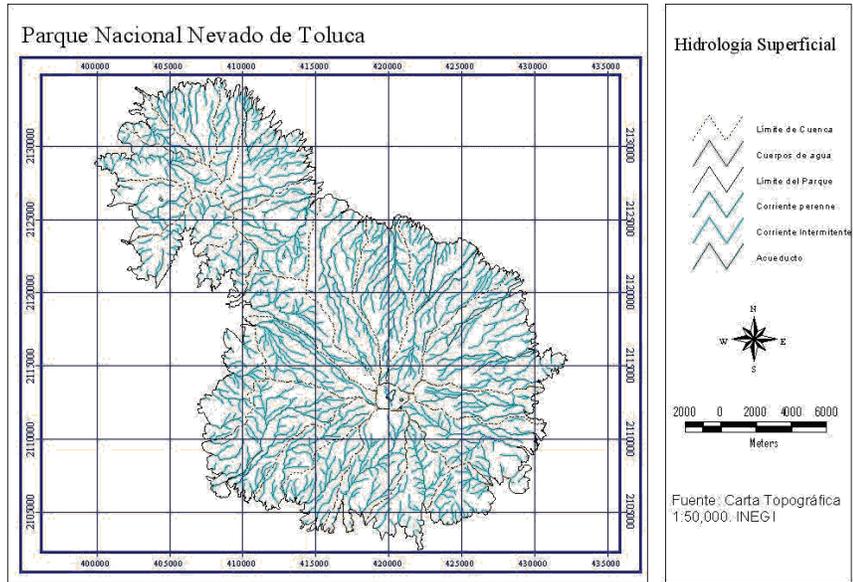
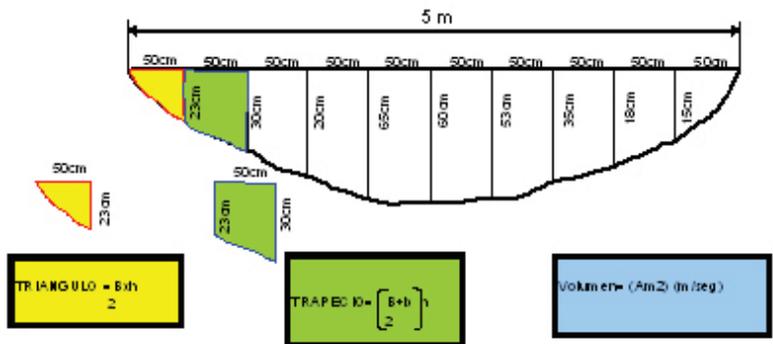


Figura 1. Volumen en  $m^3/\text{seg} = \text{área} (m^2) \times \text{velocidad} (m/s)$



En campo se determinaron los parámetros: pH, turbidez, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto que se obtuvieron con el medidor de calidad de agua Modelo U10 número de serie 60 2003, el cual fue calibra-

do en el Laboratorio de Química Ambiental y Microbiología de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Así mismo se tomaron muestras de agua para sólidos totales y 14 parámetros más para nueve cuencas que en su trayecto cruzaran comunidades rurales antes de salir del parque, se corrieron estos mismos 14 análisis a dos cuencas que no atravesaran poblaciones (muestras testigos): demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), arsénico, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, plomo, coniformes fecales, carbono orgánico total (COT), cloruros, sustancias activas al azul de metileno (SAAM), nitratos, nitritos, cromo total, las muestras fueron tomadas de acuerdo a la NMX-AA-014 y trasladados al el Laboratorio de Química Ambiental y Microbiología de la Facultad de Química de la UAEMex, donde fueron procesadas, bajo las siguientes metodologías. (cuadro 1)

Cuadro 1. Metodologías empleadas para el análisis de las muestras de agua

PARÁMETROS	NORMA
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Conductividad eléctrica	NMX-AA-093-SCFI-2000
Temperatura	NMX-AA-038-SCFI-2001
Oxígeno disuelto (DO)	NMX-AA-012-SCFI-2001
Sólidos y Sales	NMX-AA-007-SCFI-2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	NMX-AA-034-SCFI-2001
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-AA-028-SCFI-2001
Cadmio	NMX-AA-030-SCFI-2001
Cromo hexavalente	NMX-AA-014-SCFI-2001
Mercurio	NMX-AA-014-SCFI-2001
Plomo	NMX-AA-014-SCFI-2001
Coliformes totales, coliformes fecales	NMX-AA-014-SCFI-2001
Carbono Orgánico Total (COT)	CE-CCA-001-89
Cloruros totales	NMX-AA-013-SCFI-2001
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	NMX-AA-038-SCFI-2001
Determinación de Nitros	NMX-AA-079-SCFI-2001
Nitratos y Nitritos	NMX-AA-099-SCFI-2006
Cromo total	NMX-AA-014-SCFI-2001

Fuente: Elaboración propia con base en las normas mexicanas correspondientes.

Los límites establecidos por las normas mexicanas para cada uno de los parámetros medidos se establecen en el cuadro 2:

### 3. Resultados

El PNNT es el parteaguas de dos de las cuencas hidrológicas más importantes de México: Lerma-Chapala-Santiago (Región hidrológica 12) y Balsas (Región hidrológica 18). Dentro de la primera abarca la cuenca Lerma-Toluca, cubriendo dentro del PNNT una superficie de 24,310.2 ha, en donde nacen las Subcuencas: Amoloya-Otzolotepec (a), La Gavia (i), Tejalpa (j) y Verdiguél (k) con nueve microcuencas, las cuales produjeron para el periodo que se muestreó 0.8161 m<sup>3</sup>/seg, de este volumen la Comisión Nacional del Agua (CNA) aprovecha 3,134,912.00 m<sup>3</sup>/año. (datos proporcionados por la CNA)

La Región Hidrológica 18 abarca dentro del PNNT una superficie de 29,602.7 ha, da origen a las Cuencas Balsas-Mezcala (B) y Cutzamala (G), la primera está constituida por la subcuenca Pachumeco (f), y la segunda por las

Cuadro 2. Parámetros, aplicación y límites para los análisis de aguas

Parámetro	Aplicación	Límites
pH	Indicador de condiciones del medio que influye en las reacciones biológicas. Indicador de la presencia de ácidos o bases.	8.5 máximo para poder eliminar microorganismos por cloración
Conductividad	Aproximación del contenido de sólidos disueltos.	Agua pura: 0.055 $\mu\text{S/cm}$ . Agua destilada: 0.5 $\mu\text{S/cm}$ . Agua de montaña: 1.0 $\mu\text{S/cm}$ . Agua para uso doméstico: 500 a 800 $\mu\text{S/cm}$ . Máximo para agua potable: 10055 $\mu\text{S/cm}$ . Agua de mar: 52 $\mu\text{S/cm}$ .
Turbiedad	Medida indirecta del contenido de materiales suspendidos. Seguimiento de procesos como filtración. Evaluación de la calidad de efluentes	25 unidades de turbiedad nefelométrica (NTU) O si equivalente en otro método.
Oxígeno disuelto	Capacidad de un cuerpo receptor para sostener la vida acuática.	Es aceptable cuando es mayor a 5 mg/l
Temperatura	Indicador de las velocidades de las posibles reacciones biológicas.	límite a 40°C
Salidad		2000 milimoles/lm.
Sólidos	Orientación para método de tratamiento	1000.00 mg/l
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Medir la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar el material contaminante biodegradable.	DBO <sub>5</sub> > 3. Excelente. No contaminada. 3 < DBO <sub>5</sub> < 6. Buena calidad. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable. Con indicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de auto depuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Medir la cantidad de oxígeno que se requiere en una reacción química para oxidar el material orgánico contaminante.	DQO > 10. Buena calidad. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable. 20 < DQO < 40. Aceptable. Con indicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de auto depuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. 40 < DQO < 200. Contaminadas. Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Cadmio		0.005 mg/l
Cromo Hexavalente		0.05
Mercurio		0.001 mg/l
Pbmo		0.025 mg/l
Coliformes fecales		No detectable en 100ml
Carbono orgánico total (COT)	Evaluar la contaminación orgánica y efectuar el seguimiento de los procesos de la planta.	Se considera aceptable cuando es menor de 3
Cloruros		250 mg/l
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	Evaluación del contenido de detergentes en el agua.	Los principales problemas que provocan estos compuestos, en concentraciones muy bajas, son la producción de espuma y la impartición de sabor. Por ello, el estándar de 0.5 mg/l presenta un factor de seguridad de 15,000 veces en relación con su toxicidad.
Nitrato		10.00 mg/l
Nitrito		0.05 mg/l
Criotal		0.05 mg/l

Fuente: Elaboración propia con base en las normas mexicanas.

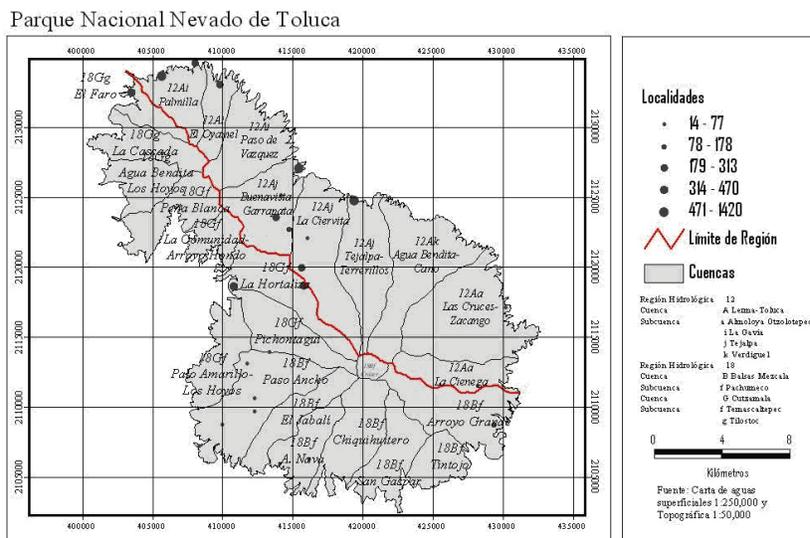
ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL DEL PARQUE NACIONAL  
NEVADO DE TOLUCA, PARA EL AÑO 2006

subcuencas Temascaltepec (f) y Tilostoc (g), y dan origen a 15 microcuencas del Parque, las cuales produjeron para el periodo que se muestreó 5.1168 m<sup>3</sup>/seg, de este volumen la CNA aprovecha 447,119.00 m<sup>3</sup>/año. (datos proporcionados por la CNA)

El cráter del volcán Nevado de Toluca, está considerada dentro de esta última Región y en ella se encuentran los lagos denominados el Sol y la Luna.

El Volumen obtenido de agua superficiales de las 25 cuencas del PNNT, fue de 5.93 m<sup>3</sup>/seg. (Cuadro 3 de Anexos)

Mapa 2. Cuencas, subcuencas y microcuencas hidrológicas del Parque Nacional Nevado de Toluca



Para estimar la cantidad y calidad del agua que produce el PNNT; a continuación se realiza el análisis por microcuencas:

Región Hidrológica 12. Cuenca Lerma- Toluca (A):

Para el año 2006, de acuerdo a los datos de campo, se estima que produjo 0.8161 m<sup>3</sup>/seg de agua, de los cuales se aprovecharon 3,134,912.00 de m<sup>3</sup>/año, de acuerdo a datos obtenidos en la CNA y a través del aprovechamiento de ocho arroyos para población rural y urbana fuera del PNNT. Dentro de esta cuenca nacen las Subcuencas:

- Amoloya-Otzolotepec (a), con dos microcuencas:

Las Cruces-Zacango, esta microcuenca cubre un área de 4,643.6 ha, tiene una corriente de tercer orden, su nacimiento dentro del parque es a los 3,780 m.s.n.m, se alimenta por dos manantiales; a los 2,939 m.s.n.m se realizó el aforo del cual se obtuvo un volumen de 0.0243 m<sup>3</sup>/seg. En el muestreo para análisis de calidad de agua, se identificó la presencia de coliformes fecales 220 NMP/cm<sup>3</sup>, sin embargo los demás parámetros la clasifican como de muy buena calidad, el volumen aprovechado por la CNA es de 648.610.00 m<sup>3</sup>/año, dentro de esta cuenca existe una población con 14 habitantes lo que estaría explicando la presencia de coliformes.

La microcuenca La Ciénega cubre un área de 1596.7 ha, es una corriente de tercer orden, tiene su nacimiento dentro del parque a los 4160 m.s.n.m, es alimentada por un manantial. A los 3,008 m.s.n.m se realizó el aforo, del cual se obtuvo que produce 0.0886 m<sup>3</sup>/seg. El muestreo para análisis de calidad de agua la clasifica como de muy buena calidad, el volumen aprovechado por la CNA es de 355,875.00 m<sup>3</sup>/año, dentro de esta cuenca existe una localidad con 68 habitantes.

- La Gavia (i), con tres microcuencas

Paso de Vázquez, esta microcuenca cubre un área de 2,625.5 ha. Se clasifica como una corriente de tercer orden y tiene su nacimiento dentro del parque a los 3520 m.s.n.m, es alimentada por un manantial, el aforo se realizó a los 2878 m.s.n.m y se estimó que produce 0.0817 m<sup>3</sup>/seg. La toma de la muestra para calidad del agua y su posterior análisis indica que el agua es de buena calidad, ya que el único parámetro fuera de la norma es la turbidez con 87 NTU, el volumen aprovechado por la CNA es de 793,125.00 m<sup>3</sup>/año.

La microcuenca El Oyamel cubre un área de 1,113.6 ha. Está clasificada como una corriente de segundo orden y tiene su nacimiento dentro del parque a los 3520 m.s.n.m; el aforo se realizó a los 2876 m.s.n.m. Se estima que produce 0.0075 m<sup>3</sup>/seg. Los análisis de la muestra de agua indican que los Nitratos están por encima de lo permitido por la norma, con 1.8 mg/l, y 230 NPM/100 ml de coliformes, lo cual no es significativo, por lo tanto se puede considerar que la calidad del agua para esta cuencas es buena, el volumen aprovechado por la CNA es 22,812.00m<sup>3</sup>/año. Dentro de esta cuenca existe una población de 29 habitantes lo cual explica la presencia de coliformes.

Palmillas, esta microcuenca cubre un área de 1,595.7ha, es una corriente de segundo orden, nace dentro del parque a los 3,600 m.s.n.m; a los 3,016 m.s.n.m se tomó la muestra de agua para su análisis; el aforo no se realizó, ya que el arroyo se encontró entubado, sin embargo sí se tomaron las muestras para calidad del agua, las cuales se encuentran dentro de la norma, es decir de buena calidad, con excepción de turbidez ya que se reportó 40 NTU. El volumen aprovechado por la CNA es de 120.085.00 m<sup>3</sup>/año, dentro de esta cuenca se localizan dos poblaciones con un total de 1,695 habitantes.

Tejalpa (j) con tres microcuencas: Buenavista-La Garrapata, cubre un área de 2,591.8 ha., la corriente es de cuarto orden, tiene su nacimiento dentro del parque a los 3,700 m.s.n.m y es alimentada por un manantial. A los 2,993 m.s.n.m se realizó el aforo, obteniendo 0.1817 m<sup>3</sup>/seg, la calidad del agua según los análisis químicos efectuados es excelente a pesar que dentro de ella se localizan cuatro poblaciones con un total de 1,759 habitantes, de hecho es la cuenca con mayor número de personas, no se tiene registro del aprovechamiento por la CNA.

La Ciervita, esta microcuenca cubre un área de 3,435.6 ha. La corriente es de tercer orden, es alimentada por un manantial y tiene su nacimiento dentro del parque a los 3,520 m.s.n.m; a los 2,876 m.s.n.m se realizó el aforo, estimando que produce 0.3741 m<sup>3</sup>/seg. La muestra para análisis permitió identificar que la calidad del agua es aceptable, ya que el DQO es de 21 mg/l y la turbidez de 177 NTU, el volumen aprovechado por la CNA es de 63,072.00 m<sup>3</sup>/año, dentro de esta cuenca existen dos poblaciones con un total de 246 habitantes.

Tejalpa-Terrerillos: esta microcuenca cubre un área de 2,833.8 ha, la corriente principal es de tercer orden, es alimentada por dos manantiales, nace dentro del parque a los 4,100 m.s.n.m. El aforo se realizó a los 2,999 m.s.n.m, se calculó un volumen de 0.0557 m<sup>3</sup>/seg, la calidad del agua de acuerdo a los análisis realizados es excelente, existe una población dentro de la cuenca con 1,121 habitantes, el volumen aprovechado por la CNA es de 787,980.00 m<sup>3</sup>/año.

- Verdiguel (k) con una microcuenca:

Agua Bendita-Cano esta microcuenca cubre un área de 3,873.9 ha, nace dentro del parque a los 3,880 m.s.n.m; la corriente principal es de tercer orden, la cual es alimentada por un manantial. A los 3,014 m.s.n.m se realizó el aforo obteniendo un volumen de 0.0025 m<sup>3</sup>/seg. Los análisis de la muestra de agua arrojaron resultados favorables ya que se clasificó como excelente; el volumen aprovechado por la CNA es de 397,353.00 m<sup>3</sup>/año, este volumen reportado es mayor al obtenido en campo.

#### La Región Hidrológica 18. Cuenca: Balsas-Mezcala (B):

- Subcuenca Pachumeco (f), con ocho microcuencas:

Nava, esta microcuenca cubre un área de 1,684.8 ha. Existe una comunidad con 68 habitantes dentro de ésta. La corriente es de tercer orden, tiene su nacimiento dentro del parque a los 3,460 m.s.n.m, el aforo y la muestra para análisis se tomó a los 2,950 m.s.n.m, se estima que produce 0.1481 m<sup>3</sup>/seg. La calidad del agua es excelente de acuerdo a los datos obtenidos, no se tienen datos de aprovechamiento por la CNA.

Chiquihuitero-Los Tizantes, esta microcuenca cubre un área de 2,494.3 ha. Es una corriente de tercer orden, tiene su nacimiento dentro del parque a los

3,760 m.s.n.m, el aforo y la muestra para análisis se tomó a los 2,912 m.s.n.m, se estima que produce 1.1205 m<sup>3</sup>/seg. Este volumen no es aprovechado por la CNA. La cuenca fue una de los dos testigos que se consideraron para realizar todos los análisis y el resultado obtenido es de calidad aceptable, ya que el DBO es de 5, nitritos, coliformes, COT y turbidez se salen de la norma. (cuadros 4 y 5 de anexos)

Jabalí, esta microcuenca cubre un área de 1,704.4 ha. Es una corriente de tercer orden, nace a los 4,240 m.s.n.m, la muestra para análisis así como el aforo se realizaron a los 2,942 m.s.n.m, se estima que produce 0.3495 m<sup>3</sup>/seg. Este volumen no es aprovechado por la CNA, la calidad del agua es aceptable ya que el DBO es de 5 y se sale de la norma. (cuadros 4 y 5 de anexos)

Paso Ancho, esta microcuenca cubre un área de 3,792.0 ha, la corriente principal es de cuarto orden, es alimentada por dos manantiales, nace dentro del parque a los 3,200 m.s.n.m, la toma de muestra para análisis y el aforo se tomaron a los 3,125 m.s.n.m, se estima que produce 0.0868 m<sup>3</sup>/seg. El volumen aprovechado por la CNA es de 82,140.00 m<sup>3</sup>/año, el agua es de muy buena calidad y es aprovechada por seis comunidades con un total de 219 habitantes. (cuadros 4 y 5 de anexos)

Arroyo Grande, esta microcuenca cubre un área de 3,010.7 ha, dentro se encuentra establecida una comunidad con 118 habitantes, la corriente principal es de cuarto orden, tiene su nacimiento a los 3,660 m.s.n.m, el aforo y la muestra para análisis se tomó a los 2,902 m.s.n.m, se estima que produce 0.993 m<sup>3</sup>/seg. La calidad del agua es buena ya que únicamente se tienen en turbidez 2 NTU por encima de la norma, el volumen aprovechado por la CNA es de 364,979.00 m<sup>3</sup>/año.

Tintojo, esta microcuenca cubre un área de 1,233.7 ha, es una corriente de tercer orden, nace dentro del parque a los 3,540 m.s.n.m, la muestra para el análisis y el aforo se realizó a los 2,672 m.s.n.m, se estima que produce 0.2683 m<sup>3</sup>/seg, de este volumen no existe reporte de aprovechamiento por la CNA, la calidad del agua de acuerdo a los análisis realizados es excelente.

La microcuenca San Gaspar, cubre un área de 2,001.8 ha, es una corriente de tercer orden, tiene su nacimiento dentro del parque a los 3,620 m.s.n.m, la toma del caudal y muestra para análisis se tomaron a los 2,462 m.s.n.m, se estima que produce 1.2458 m<sup>3</sup>/seg, de agua de excelente calidad, de acuerdo a los resultados obtenidos; de este volumen no existe reporte de aprovechado por la CNA.

Lago El Sol se localiza a 4,194 m.s.n.m, ocupa 22.28 ha del cráter del Volcán Nevado de Toluca, la calidad del agua es buena. (cuadros 4 y 5 de anexos)

Lago La Luna, se localiza a 4212 m.s.n.m, ocupa 2.85 ha del cráter del Volcán Nevado de Toluca, la calidad del agua es buena. (cuadros 4 y 5 de anexos)

- Cuenca Cutzamala (G), con dos subcuencas:

- Temascaltepec (f) con cinco microcuencas:

Palo Amarillo-Los Hoyos, esta microcuenca cubre un área de 1,936.0 ha. El arroyo principal es de segundo orden, nace dentro del parque a los 3,360 m.s.n.m, la muestra para análisis y el aforo se tomó a los 2,888 m.s.n.m; se estima que produce 0.0104 m<sup>3</sup>/seg de agua de buena calidad, no se tiene el volumen aprovechado por la CNA.

La Hortaliza, esta microcuenca cubre un área de 2,358.8 ha, es una corriente de tercer orden, se alimenta por un manantial, nace dentro del parque a los 3,660 m.s.n.m, la muestra para análisis y el aforo se tomaron a los 3,010 m.s.n.m, se estima que produce 0.0104 m<sup>3</sup>/seg de agua de buena calidad, que es ocupada por 837 habitantes de dos comunidades que viven dentro de la microcuenca, de este volumen no se tiene registro del aprovechamiento por la CNA.

Pichontagui, esta microcuenca abarca una superficie de 2,146.1ha, es una corriente de tercer orden y se alimenta por un manantial, nace dentro del parque a los 3,680 m.s.n.m, la muestra para análisis y el aforo se tomaron a los 3,030 m.s.n.m, se estima que produce 0.1056 m<sup>3</sup>/seg de excelente calidad, de este volumen no se tiene registro de aprovechamiento por la CNA.

La Comunidad-Arroyo Hondo, esta microcuenca cubre un área de 1,007.8 ha, la corriente es de segundo orden, tiene su nacimiento dentro del parque a los 3,460 m.s.n.m, la toma de muestra para análisis y el aforo se realizaron a los 2,880 m.s.n.m, se estima que produce 0.2188 m<sup>3</sup>/seg de agua que, de acuerdo la cantidad de sólidos totales, se clasifica como aceptable, de este volumen no se tiene registro del aprovechamiento por la CNA.

Peña Blanca, esta microcuenca abarca un área de 1,933.8 ha, la corriente es de tercer orden, nace dentro del parque a los 3,520 m.s.n.m, la muestra para análisis así como el aforo se realizaron a los 2,710 m.s.n.m, se estima que produce 0.4036 m<sup>3</sup>/seg de agua de excelente calidad, no se tiene registro de aprovechamiento por la CNA.

- Tilostoc (g), con tres microcuencas:

El Faro, esta microcuenca cubre una superficie de 803.6 ha, donde habita una comunidad con 470 habitantes, es una corriente de tercer orden, tiene su nacimiento dentro del parque a los 3,420 m.s.n.m, la medición del caudal y muestra para análisis se tomaron a los 2,790 m.s.n.m, se estima que produce 0.1555 m<sup>3</sup>/seg, de agua que al pasar por la comunidad queda significativamente contaminado por coliformes fecales como lo indica las 4,600 NMP/100 cm<sup>3</sup> identificadas en el laboratorio; de este volumen no se tiene registro de aprovechamiento por la CNA.

La microcuenca La Cascada, cubre un área de 1,715.2 ha, es una corriente de tercer orden, nace a los 3480 m.s.n.m, la toma del caudal y muestra para análisis se tomó a los 2,752 m.s.n.m, se estima que produce 0.2424 m<sup>3</sup>/seg,

de agua, la cual está contaminada por coliformes fecales con 2,400 NMP/100 cm<sup>3</sup>. De este volumen no se tiene registro de aprovechamiento por la CNA.

Agua Bendita-Los Hoyos, esta microcuenca cubre una superficie de 1,464.4 ha., es una corriente de tercer orden, nace dentro del parque a los 3,440 m.s.n.m, la muestra para análisis y el aforo se realizaron a los 2,875 m.s.n.m, se estima que produce 0.1602 m<sup>3</sup>/seg, de agua de excelente calidad, de este volumen no se tiene registro de aprovechamiento por la CNA.

#### 4. Conclusiones

El PNNT por sus características geográficas está compuesta por 25 microcuencas, de las cuales 9 vierten su caudal a la Región Hidrológica (12) Lerma-Chapala Santiago, es decir al Valle de Toluca y las otras 16 pertenece a la región Hidrológica (18) Balsas; sin embargo, la microcuenca del cráter es endorreica; ambas representan un importante proveedor de servicios ambientales para los diez municipios que integran el parque, en cuanto al estudio que hoy nos ocupa el parque produjo un total de 5.93 m<sup>3</sup>/seg (para este periodo de estudio) y de esta cantidad la CNA sólo aprovecha 3,582,031 m<sup>3</sup>/año. Parte de la explicación de la cantidad de agua que emana del Parque, es que 17 de las 25 microcuencas presentan escurrimientos de agua de tercer orden, cuatro de segundo orden y tres de cuarto orden.

Es importante mencionar que de las determinaciones de metales pesados analizados, para todas las cuencas muestreadas, estas se encuentran por debajo de los límites permisibles que marca las normas para cada metal. (cuadro 6 de anexos)

En la cuenca Lerma Toluca existen tres microcuencas que producen agua de excelente calidad: Buenavista-La Garrapata, Tejalpa-Terrerillos y Agua Bendita-Cano, dos de ellas producen agua de muy buena calidad: Las Cruces-Zacango y la Ciénega; las microcuencas que cuentan con agua de buena calidad son: Paso de Vázquez, El Oyamel y Palmillas y finalmente La Ciervita produce agua de calidad aceptable.

De las ocho microcuencas que integran a la cuenca Balsas Mezcala, dentro del parque, A. Nava, Tintojo y San Gaspar producen agua de excelente calidad; Arroyo Grande, Paso Ancho y los Lagos de El Sol y La Luna, presentan agua de buena calidad y las microcuencas: Chiquihuitero-Los Tizantes y El Jabalí producen agua de calidad aceptable.

Dentro de la cuenca Cutzamala, tres microcuencas producen agua de excelente calidad: Pinchontagui, Peña Blanca, y Agua Bendita-Los Hoyos; dos producen agua de buena calidad: Palo Amarillo-Los Hoyos y La Hortaliza; la microcuenca La Comunidad-A. Hondo arroja agua de calidad aceptable y las microcuencas La Cascada y El Faro, presentan niveles altos de contaminación por coliformes fecales.

Este primer estudio nos proporciona una aproximación de la cantidad y calidad del agua que produce el parque como uno de los servicios ambientales. En general, el Parque produce agua de buena calidad.

En cuanto a la microcuenca que presentan contaminación por coniformes fecales, dada la naturaleza de la contaminación, es posible sanearla por cloración, debido al pH que presentan es inferior a 8.5; se requiere de tiempo y de una alternativa para entubar el drenaje de las viviendas, y por otra parte, de una estrategia para el manejo ganadero, que pueden ser algunos de los factores que están provocando esta contaminación.

Para estar en posibilidades de hacer un cálculo preciso de la cantidad de agua que produce el PNNT, es necesario realizar éste mismo estudio durante la estación de estiaje del año y por varios años, adicionalmente se requerirá la información oficial de los organismos responsables de dar atención y seguimiento al recurso agua, sobre todo lo relacionado con la ubicación de pozos y extracción de cada uno. En cuanto a la estimación de la calidad del agua, se considera conveniente realizar todos los análisis a todas las microcuencas, ya que se partió de la hipótesis que solo podía existir contaminación en aquellas cuencas donde existieran asentamientos humanos y una de las dos cuencas "testigo" (Chquihuitero-Los Tizantes) presentó parámetros que salen de los rangos de calidad indicados por las normas.

## Bibliografía

- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad, 2004: Regiones terrestres Prioritarias de México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/>
- DOF, Diario Oficial de la Federación, 1995: "Acuerdo de coordinación que celebra la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y el Gobierno del Estado de México, mediante el cual se transfiere al Gobierno de dicho Estado, la administración de diversos parques nacionales ubicados dentro de su territorio", México: DOF.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Departamento de Agricultura, 1997: "Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía", Roma: ONU, en: <http://www.fao.org/docrep/T08485/T0848500.htm>
- Franco Maass, Sergio y Rodríguez Labajos, Beatriz, 2003: "Servicios ambientales y Desarrollo Local. Oportunidades y limitaciones en un Parque Nacional de México". Ponencia presentada en el I Congreso Iberoamericano de Desarrollo y Medio Ambiente. Ecuador, Octubre 2004.
- INE, Instituto Nacional de Ecología, 2006: *Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001-89*, en: [http://www.ine.gob.mx/criterios\\_eco.htm](http://www.ine.gob.mx/criterios_eco.htm)
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1997: Carta topográfica 1:50,000 E14A37, México: INEGI.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1997: Carta topográfica 1:50,000 E14A47, México: INEGI.

ERIC ROJAS, MA. EUGENIA VALDEZ, PATRICIA MIRELES, ARMANDO REYES Y JESÚS PASTOR

- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1998: Carta topográfica 1:50,000 E14A48, México: INEGI.
- Parras, Luis y otros, 2003: *Ordenación Territorial del Parque Natural de Despeñaperros (Jaén). Criterios Metodológicos*. España: Instituto de Estudios Giennenses, Diputación de Jaén.
- Soberón, Jorge y otros, 2002: *Áreas Naturales Protegidas y Conservación insitu de la Biodiversidad en México*, en: <http://www.ine.gob.mx/ueaje/publicaciones/gacetas/161/>
- SPP, Secretaría de Programación y Presupuesto, 1983: Carta hidrológica de aguas superficiales 1:250,000, E14-2, México: SPP.

Anexos

Cuadro 3. Estimación de la cantidad de agua del Parque Nacional Nevado de Toluca

Región Hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Tipo Muestra	VOLUMEN m3/s (cálculo de campo)	Volumen m3/año (CNA)	Volumen m3/año (CNA) Región	VOLUMEN m3/s Región	
12	Lerma-Toluca (A)	Almoloya-Ozcoatepec (a)	Las Cruces-Zacango	Biológico	0.0243	648,610.00			
			La Ciénega	Biológico	0.0886	366,875.00			
			Paso de Vázquez	Biológico	0.0817	739,125.00			
			El Oyamel	Biológico	0.0075	22,812.00			
			Palmitas	Biológico	0.0000	120,085.00			
			Buenavista-La Garrapata	Biológico	0.1817				
			La Cienrita	Biológico	0.3741	63,072.00			
			Tejalpa-Terretillos	Biológico	0.0567	787,980.00			
			Agua Bendita-Cano	Biológico	0.0025	397,363.00			
			A. Nava	Biológico	0.1481			3,134,912.00	0.8161
			Chiquititero-Los Tizantés	Testigo	1.1205				
			El Jabali	Biológico	0.3495				
18	Balsas Mezcala (B)	Pachumeco (f)	Paso Ancho	Biológico	0.0868	82,140.00			
			Arroyo Grande	Biológico	0.0993	364,979.00			
			Tintojo	Biológico	0.2683				
			San Gaspar	Biológico	1.2468				
			Lago La Luna	Biológico	0.0000				
			Lago El Sol	Biológico	0.0000				
			Palo Amarillo-Los Hoyos	Biológico	0.0104				
			La Hortaliza	Biológico	0.5023				
			Pichontagui	Biológico	0.1056				
			La Comunidad-A. Hondo	Biológico	0.2188				
			Peña Blanca	Biológico	0.4036				
			El Faro	Biológico	0.1555				
Cutzamala (G)	Tilostoc (g)	La Cascada	Biológico	0.2424					
		Agua Bendita-Los Hoyos	Testigo	0.1602					
					5.93	3,582,031.00	447,119.00	5.1188	
						3,582,031.00	3,582,031.00	5.93	

¡: Elaboración propia con el base en el estado de campo.

Cuadro 4. Parámetros químicos de agua del Parque Nacional Nevado de Toluca

Muestra	SOL. TOT. mg/L	D.B.O.5 mg/L	D.O.O. mg/L	COL. FECALES NMP/100cm <sup>3</sup>	C.O.T.	CLORUROS mg/L	SAAM mg/L	NITRA mg/L	NITRI mg/L
Las Cruces-Zacango	136	<5	6	220	*	*	*	*	*
La Ciénega	12	<5	3	*	2,7836	0,5	0,23	1,1	0,0658
Paso de Vázquez	224	*	*	*	*	*	*	*	*
El Oyam el	144	<5	8,0	230	3,6293	<1,0	0,038	11,86	<0,03
Palmillas	140	<5	4,0	*	*	*	*	*	*
Buenavista-La Garrapata	384	<5,0	2,0	>23	0,2365	1,0	0,013	3,98	<0,03
La Ciervita	572	<5	21	>23	1,1269	1,0	0,035	9,94	<0,03
Tejalpa-Terrillos	528	<5	8,0	>23	0,6893	1,5	0,05	3,98	<0,03
Agua Bendita-Cano	84	<5,0	6,0	*	*	*	*	*	*
A. Nava	92	<5	2	13	2,2324	0,504	<0,1	3,0	<0,03
Chiquihuilero-Los Tizantes	92	7 ± 1	49	>1600	7,5577	0,5	0,3	0,66	0,0774
El Jabali	84	7 ± 1	49	*	*	*	*	*	*
Paso Ancho	72	<5	1	240	1,8332	1,01	0,16	4,16	<0,03
Arroyo Grande	72	<5	9	*	*	*	*	*	*
Tintojo	32	<5	6	*	*	*	*	*	*
San Gaspar	68	<5	8	*	*	*	*	*	*
Lago La Luna	84	*	*	*	*	*	*	*	*
Lago El Sol	136	*	*	*	*	*	*	*	*
Palo Amarillo-Los Hoyos	176	*	*	*	*	*	*	*	*
La Hortaliza	324	<5,0	12	>23	2,0066	<0,5	0,055	1,37	<0,0091
Pichontagui	92	<5,0	9,7	*	*	*	*	*	*
La Comunidad-A. Hondo	8140	<5,0	12	*	*	*	*	*	*
Peña Blanca	68	<5,0	6,0	*	*	*	*	*	*
El Faro	140	<5	8,0	4600	0,5638	1,0	0,031	3,78	<0,03
La Cascada	88	<5	4,0	2400	2,4313	0,5	0,03	3,43	<0,03
Agua Bendita-Los Hoyos	108	<5	12	*	*	*	*	*	*

Nota: Elaboración propia con el base de los análisis de laboratorio.

Cuadro 5. Parámetros físicos y químicos de agua calculados en campo en el Parque Nacional Nevado de Toluca

Municipio	pH	TURB (NTU)	TEMP (°C)	COND (mS/cm)	DO (mg/l)
Las Cruces-Zacaingo	8.74	10	12.1	0.054	6.85
La Ciénega	9.72	25	13.7	0.52	6.20
Paso de Vázquez	9.64	87	14.0	.062	7.14
El Oyamel	9.93	10	13.5	0.118	6.55
Palmillas	9.30	40	12.1	0.057	6.63
Benavente-La Garrapata	10.23	21	16.1	.085	6.63
La Ciénega	9.41	177	14.3	.060	6.19
Tejalpa-Temilils	9.84	20	15.0	.062	5.72
Agua Bendita-Cano	9.92	3.0	13.0	0.074	7.30
A. Nava	9.53	4	11.9	.044	6.89
Chiquitillo-Los Tizales	9.29	149	9.4	.034	6.90
El Jabali	9.39	7	10.6	.044	6.05
Paso Ancho	9.77	1	13.7	.094	5.71
Arroyo Grande	10.15	27	14.8	.082	5.98
Tintajo	9.60	6	12.6	.052	6.75
San Gaspar	10.19	4	13.8	.055	8.20
Lago La Lina	7.98	2	11.0	.011	6.01
Lago El Sol	9.26	5	10.8	.069	6.19
Palo Amarillo-Los Hoyos	9.85	6	12.7	0.055	9.27
La Hortalza	10.26	20	11.5	.070	6.74
Pico Estagoil	9.28	0	9.5	.064	9.42
La Comunidad-A. Hondo	10.11	7	12.1	0.065	6.77
Peta Blanca	9.19	5.0	10.8	.054	7.32
El Faro	8.38	10	14.1	0.055	6.32
La Cascada	9.19	15	12.3	0.044	7.0
Agua Bendita-Los Hoyos	9.65	6	12.9	0.034	6.62

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de campo.

Cuadro 6. Contenido de metales pesados en las microcuencas del Parque Nacional Nevado de Toluca

Microcuenca	ARSENICO mg/L	CADMIO mg/L	CRÓMIO HEXA. mg/L	MERCURIO mg/L	PLÓMBO mg/L	CR TOT. mg/L
A. Nava	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Chiquitero-Los Tizantes	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
El Jabali	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Paso Ancho	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Palo Amarillo-Los Hoyos	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
La Hortaliza	**	0,0022	<0,1	<0,0002	<0,002	*
Pichontagui	**	<0,002	<0,1	<0,0002	<0,002	*
La Comunidad-A. Hondo	**	<0,002	<0,1	<0,0002	<0,002	*
Peña Blanca	**	<0,002	<0,1	<0,0002	<0,002	*
Buenavista-La Garrapata	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Paso de Vázquez	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
El Oyamel	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Palmillas	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
El Faro	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
La Cascada	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Agua Bendita-Los Hoyos	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
La Cieraña	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Tejalpa-Terrerillos	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Agua Bendita-Cano	**	<0,002	<0,1	<0,0002	<0,002	*
Las Cruces-Zacango	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
La Ciénega	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Arroyo Grande	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
Tintojo	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002
San Gaspar	**	<0,002	<0,1	<0,0002	<0,002	*
Lago La Luna	*	<0,002	*	0,0002	*	<0,002
Lago El Sol	*	<0,002	*	<0,0002	*	<0,002

Fuente: Elaboración propia con el base en el sitio de laboratorio.