

# Automatización del sistema de bombeo en el aprovisionamiento de agua potable a la ciudad de Nogoyá, Entre Ríos

*Eduardo Pujato<sup>1</sup>, Mario Nudelman<sup>2</sup>, Daniel Rocca<sup>3</sup> y Luis Porcaro<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Dirección de Obras Sanitarias de Entre Ríos, 25 de Mayo 328, (3100) Paraná, Entre Ríos, Argentina.

<sup>2</sup> CEGELAH - Facultad de Ciencia y Tecnología (UADER), Corrientes y Andrés Pazos, (3100) Paraná, Entre Ríos, Argentina.

<sup>3</sup> Municipalidad de Nogoyá, Caseros 965, (3150) Nogoyá, Entre Ríos, Argentina.

Mail de contacto: [eduardopujato@gmail.com](mailto:eduardopujato@gmail.com)

## RESUMEN

En la provincia de Entre Ríos, los proveedores de agua potable y saneamiento a cargo de los municipios, no siempre dan prioridad a la inversión requerida. Este trabajo demuestra que es posible reducir los costos de producción con pequeños aumentos en los presupuestos asignados. Podrían conseguirse ahorros significativos además de preservar los recursos hídricos, a través de una adecuada planificación. La ciudad de Nogoyá tiene una población de alrededor de 25.000 personas. La red de agua potable cubre el 98%, abastecida por 10 pozos equipados con bombas sumergibles, que eran operados por un sistema manual - empírico. El objetivo se basó en alternar la operación de las bombas y la aplicación de la automatización de la operación para minimizar los gastos. Por el momento, se logró reducir los costos operativos entre 8 y 24% y disminuir los conos de depresión de bombeo.

Palabras clave: Nogoyá, energía, agua potable, automatización

## ABSTRACT

In the province of Entre Rios, suppliers of drinking water and sanitation in charge of municipalities, do not always prioritize the investment required. This work shows that it is possible to reduce costs of production with small increases in the assigned budgets. Significant savings could be achieved besides to preserve water resources through an appropriate planning. Nogoyá city has a population of around 25.000 people. The drinking water network covers 98%, supplied by 10 boreholes equipped with submersible pumps, which were operated by a manual - empirical system. The objective was based on alternating the pumps operation, implementing the automation of the operation to minimize expenses. At the moment, we managed to reduce operating costs between 8 and 24% and reduce pumping cones of depression.

Keywords: Nogoyá, energy, drinking water, automation

## Introducción

El departamento Nogoyá se sitúa en el centro-sur de la provincia de Entre Ríos, posee una superficie de 4.282 km<sup>2</sup> y linda con los departamentos Villaguay, Tala, Gualaguay, Victoria, Diamante y Paraná. Su ciudad cabecera es Nogoyá, la que se ubica al sur del departamento y a una distancia de 110 km de la capital provincial, Paraná. La localidad cubre una superficie de 7,13 km<sup>2</sup> con un total de 435 manzanas que conforman su planta urbana, y está enmarcada por el arroyo Chañar hacia el Oeste y Norte, y por el arroyo Nogoyá hacia el Este. Su población es de 23.702 habitantes distribuidos en 7.224 hogares (Indec, Censo 2010).

## Red de Agua Potable

La red distribuidora cubre todas aquellas cuadras de la planta urbana donde se encuentra una vivienda habitada. Esto implica que el 98 % de las mismas se encuentran abastecidas con agua potable (Encuesta de Hogares Munic. de Nogoyá, 2008).

La producción de agua cruda está dada por una batería de diez pozos semisurgentes. Uno de ellos bombea directamente a la red, dos abastecen a tanques elevados subsidiarios ubicados en zonas críticas, y los siete restantes (del sistema heredado de Obras Sanitarias de la Nación) con bombeo al tanque de reserva de la ciudad.

La explotación de la fuente de agua subterránea se realiza utilizando la Formación

Paraná (Fili et al, 1995), que se extiende desde la ciudad de Paraná hacia el sur, y que es aprovechada no solo para el abastecimiento de agua potable sino también para el riego complementario. Los caudales oscilan entre los 50 y los 200 m<sup>3</sup>/hora, siendo estos últimos valores conseguidos en algunas perforaciones para riego (Tomas et al, 1999).

Como marco de referencia al tratamiento de las unidades que componen la columna hidrogeológica, se describen brevemente las unidades litoestratigráficas que se han identificado para la secuencia sedimentaria, de acuerdo a Fili et al (1995) y Aceñolaza (2007):

*Formación Paraná (Mioceno Superior)*

Esta unidad de origen marino está constituida en su parte superior y media por bancos de calcáreos fosilíferos, arcillas verdes y arenas grises, finas y medianas, en partes con restos de bivalvos. Las perforaciones realizadas en esta Formación, lo hacen en algunos casos penetrando en arcillas verdes, en calcáreos arenosos o arenas grises arcillosas. La parte superior presenta una capa acuífera de espesor variable pero poco potente (2 o 3 metros) y su localización en profundidad también es variable, debido a la heterogeneidad que presenta la Formación. Generalmente por debajo de cota 10 m la unidad es predominantemente arenosa, constituyendo el acuífero principal de la región. La base de la Formación está constituida por arcillas de extensión regional y es comúnmente identificada como "arcilla azul" en los perfiles de las perforaciones más profundas.

*Formación Alvear (Pleistoceno)*

Se ha designado formalmente bajo este nombre a los calcáreos tabicados que sobreyacen aquí a la Formación Paraná y más al norte, entre las ciudades de Paraná y La Paz, a la Formación Itzaingó. Hacia el sur se extiende hasta la entrada del arroyo Nogoyá en el delta. Entre los tabiques de tosca se incluyen limos arcillosos castaños y verdosos con manchas de manganeso. Suele formar bancos compactos y muy duros; en las perforaciones realizadas en la región se la conoce vulgarmente como "piedra mora".

*Grupo Punta Gorda (Pleistoceno)*

Los autores agrupan aquí a las unidades del "Pampeano" que se depositaron "antes de establecerse la actual red de drenaje". La unidad descrita precedentemente integra la base del grupo y se le superponen arcillas grises verdosas y rojizas, en partes limoarenosas, con abundante contenido de calcáreo. La parte superior del grupo equivale a

lo que al norte de la ciudad de Paraná se conoce como Formación Hernandarias. En la zona de Oro Verde no se ha detectado presencia de bancos yesíferos en estos sedimentos como es frecuente en la Formación Hernandarias.

*Formación Tezanos Pinto (Pleistoceno Superior)*

Esta designación formal, comprende a los loess que coronan la parte superior de las barrancas del Paraná.

**Red de Saneamiento**

La cobertura del sistema de saneamiento de Nogoyá sigue el mismo criterio que el enunciado para la red distribuidora de agua, con el 98 % de las fincas enlazadas a red (encuesta citada). Funciona mayormente por gravedad con excepción de un 15 % que converge a una estación de bombeo, donde el líquido es impulsado hasta un punto de vinculación en el que comienza nuevamente su escurrimiento por gravedad.

El tratamiento de los efluentes cloacales se realiza mediante dos lagunas encadenadas: una primaria con tratamiento anaeróbico y una secundaria con tratamiento facultativo; el efluente tratado se conduce hacia el arroyo Nogoyá, que es el cauce receptor, Figura 1.



**Figura 1.** Red de cobertura año 1964 --- Red de cobertura año 1992 (perímetro)

**Metodología**

El sistema sanitario de la ciudad de Nogoyá pasó por dos hechos significativos que marcaron puntos de inflexión en el funcionamiento del mismo; el primero de ellos fue en noviembre del año 1981 cuando se produjo la transferencia de la prestación del servicio de la Nación a la Provincia y,

específicamente en Entre Ríos, de ésta a los Municipios. A esa fecha, solamente un 15 % de la población de la ciudad contaba con ambos servicios.

El segundo hecho significativo ocurrió a partir del año 1984, ya que en el quinquenio siguiente se desarrolló un plan integral que extendió la red de saneamiento a toda cuadra de la planta urbana donde se encontrara una vivienda habitada. A la culminación de este plan el radio servido de saneamiento pasó de la zona resaltada en gris oscuro, a la zona enmarcada con el perímetro de la Figura 1, que coincide con la planta urbana de la ciudad. La consecuencia directa fue una expansión similar de la red distribuidora, que cubría al momento de la transferencia igual área diferenciada.

Si bien este modelo aplicado elevó la disponibilidad del acceso de la población a la red de agua potable, comenzaron también a aparecer problemas en la calidad de la prestación, siendo el más relevante el de la intermitencia en la provisión de agua, llegándose a la interrupción de la misma en época estival.

El origen de esta deficiencia era el “equilibrio inestable” del sistema de producción respecto al de distribución: en época veraniega; este equilibrio colapsaba por efecto del mayor consumo, agravándose a medida que se incorporaban nuevas urbanizaciones, dando lugar a la ampliación de las zonas críticas de abastecimiento existentes.

Ante esta contingencia fue necesario encarar una acción para anteponerla a la situación problemática, acción que fue el cambio de paradigma en el modelo de prestación.

Este nuevo modelo se enmarcó en el concepto de Desarrollo Sostenible aplicado al Ciclo Urbano del Agua, concepto definido en el Informe Brundtland “Nuestro Futuro Común” (ONU, 1987).

El planteo general fue la mejora en el sistema de abastecimiento de agua a la ciudad dentro del nuevo marco referido, accionando sobre la producción de agua cruda con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en particular.

Partiendo de la premisa que la energía consumida para la extracción de agua es producto de la potencia instalada y el tiempo de funcionamiento de los equipos de bombeo de los pozos, y estudiando la relación de las variables involucradas, se detectó que algunas de ellas podían modificarse en lo inmediato, otras en lo mediano aportando inversión, y un resto permaneciendo inmodificables.

El primer análisis se realizó sobre el rendimiento de las bombas, ya que éste puede tener un valor inapropiado por una mala selección del equipo, o porque el mismo sea viejo y con varias reparaciones en su haber.

Se concluyó que el servicio de la ciudad de Nogoyá contaba con un parque de bombas antiguo y con varias reparaciones, que traía aparejada incertidumbre en su punto de funcionamiento, es decir, se bombeaba el caudal solicitado pero no se sabía a qué nivel de eficiencia.

Por ello se realizaron estudios para la determinación del punto de funcionamiento teórico de un equipo nuevo con un rendimiento aceptable, y una vez seleccionado éste se comenzó, a partir del año 2008, con el recambio paulatino de los equipos existentes por nuevos con características similares a las calculadas, junto a la complementación necesaria de los tableros de comando de tecnología correspondiente a estas electrobombas.

Culminada la etapa de renovación e instalación, el segundo motivo de análisis fue el tiempo de funcionamiento de los pozos de bombeo.

Al momento del inicio del análisis, el sistema era prácticamente idéntico al de sus orígenes de funcionamiento.

Salvo dos perforaciones, que se encuentran en el mismo predio donde se ubica el tanque de reserva de la ciudad, el resto se localiza distante del mismo.

La operación de arranque y parada de los pozos se hacía en forma manual-empírica y el tablero de comando se encontraba en la ubicación de cada emplazamiento.

Por estos inconvenientes, era muy incierta la información que se tenía sobre el funcionamiento del conjunto del sistema, y sobre todo de la relación necesaria entre el caudal aportado por bombeo a tanques y el inyectado a red, y la vinculación con el nivel correspondiente del tanque de reserva.

La principal incertidumbre radicaba en el desconocimiento del posible exceso de la producción de agua por sobre el consumo, en determinadas horas del día y épocas del año, lo que podía provocar un rebalse en el tanque de reserva a través de su sistema de desborde, que se canalizaría hacia la red de desagües pluviales de la ciudad sin llegar a advertirse y pudiendo afectar al acuífero explotado.

Ante este problema se inició una modernización específica para ese sector, avanzando en una primera etapa en la instalación de un comando a distancia para la

operación de todos los pozos que alimentan el tanque de reserva.

Buscando sustento en la metodología para conseguir la eficiencia energética en la producción de agua para consumo, se desarrollaron conceptos teóricos que fueron aplicados con éxito.

Posteriormente, y con el apoyo del Área de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Secretaría de Energía del Gobierno de Entre Ríos, que aportó equipamiento y movilidad entre otras cosas, y el acompañamiento técnico del CEGELAH (FCyT-UADER) que lo hizo a través del conocimiento aportado por la investigación desarrollada por profesionales de la Universidad de Paraíba, Brasil (Pimentel Gomes et al, 2009), se trabajó en forma simultánea en la automatización y el control de distintas variables del sistema, como medición de caudales reales de las cañerías de impulsión, presiones en cañerías de distribución mediante transmisores de presión Siemens D-76181 Karlsruhe conectados a Data Logger (en ambos casos en distintas situaciones y con registros continuos y prolongados), registro de niveles piezométricos de los pozos productivos, etc.

Básicamente el sistema instalado se compone de una estación remota en cada pozo, una centralita ubicada en el puesto de guardia del predio donde se encuentra el tanque de reserva, y la conectividad entre ambos.

Este sistema permite monitorear en tiempo real el funcionamiento de cada pozo, proteger las bombas ante eventos externos y controlar a distancia el arranque/parada en todos los casos.

Una vez consolidada esta etapa se avanzó en dispositivos de arranque/parada de los equipos en forma automática, relacionando esta acción con un parámetro indicativo del consumo, que fue definido como la altura del nivel de agua en el tanque. Se establecieron

dos condiciones de borde extremas: el nivel de tanque vacío y el nivel de tanque en desborde.

En el primer caso todo el sistema se encontrará en plena producción y en el segundo caso el sistema estará totalmente parado, sin bombeo.

## Resultados

En octubre del año 2012 se dieron por finalizadas las acciones sobre el sistema productor de agua, realizándose una primera comparación en el consumo de energía interanual para los pozos involucrados (setiembre 2011-setiembre de 2012), detectándose un descenso en este ítem de un 8,75% entre las perforaciones 1 al 8, Tabla 1.

**Tabla 1.** Consumo de energía eléctrica

Pozo N°	Mes 09/2011 kWh	Mes 09/2012 kWh
1 y 2	11.076	10.075
3	21.914	14.997
4	15.554	14.616
5	10.930	9.194
6	17.929	22.371
8	20.183	17.798
10 y 12	13.384	12.895

Con la habilitación del sistema ya en su fase final (1/10/2012) se comenzó con la recolección de datos y una rotación determinada, que fue corregida al mes siguiente ya que no dio los resultados esperados.

En esta primera regulación el sistema funcionó automáticamente pero con las mismas limitaciones del sistema previo operado en forma manual.

**Tabla 2.** Consumo de energía interanual-ciudad de Nogoyá

**Fuente:** Municipalidad de Nogoyá-Dirección de Obras Sanitarias

Período	Oct. 2011	Oct. 2012	Nov. 2011	Nov. 2012	Dic. 2011	Dic.2012
Consumo kWh	95.579	91.904	101.622	90.574	119.794	103.257

En una segunda etapa se ha comenzado a valorar la variable piezometría, como elemento determinante de la evaluación de la eficiencia energética en pozos de explotación.

El objetivo de esta etapa es detectar acciones que puedan traducirse en correcciones que mejoren la productividad de la extracción de agua subterránea, para avanzar en propuestas de medidas de control y monitoreo.

Si bien se empezó a medir con equipos manuales, el ahorro logrado hasta el momento permitió demostrar la necesidad de adquirir equipamiento de precisión, convenciendo a los decisores de que se trata de una inversión para lograr una mayor eficiencia energética al disminuir los costos operativos.

La próxima etapa consistirá en la instalación de un piezógrafo de rango adecuado a los niveles encontrados.

La sostenibilidad lograda con el conocimiento y la preservación de las fuentes de aprovisionamiento de agua, ha redundado además en beneficios económicos importantes.

Se compararon los consumos de energía del sistema ex antes y ex post de la automatización.

Los resultados obtenidos del consumo de energía interanual de la provisión de agua a la ciudad se presentan en la Tabla 2.

Así, el control de las variables del sistema de extracción, almacenamiento y distribución del agua subterránea, destinado a la provisión de agua potable de la ciudad de Nogoyá, permitirá lograr ahorros significativos a través de la búsqueda de la eficiencia energética del mismo.

Conociendo el caudal real de producción de cada perforación se podrá determinar la eficiencia del pozo y del equipo instalado, comparando los caudales característicos o específicos (Q/s) de cada uno. Para tal fin se cuenta con un caudalímetro, marca ODIN, modelo TIL-3300, de turbina de inserción, con válvula esférica, que permite cambiar la longitud de inserción para distintos diámetros de cañería, acoplado a una unidad electrónica de lectura mod. 2506 con indicación de caudal, volumen parcial y total, autónomo a batería, equipamiento también provisto por la Secretaría de Energía de Entre Ríos.

Por otro lado se ha caracterizado la respuesta del acuífero explotado a los niveles de suministro de caudales actuales, tomando como referencia sus niveles estáticos históricos.

Se considera que para lograr una mayor precisión se deberán instalar pozos de monitoreo estratégicamente ubicados para la siguiente etapa de la investigación.

Finalmente en las condiciones actuales se están registrando caudales, niveles piezométricos en las perforaciones, y realizando un monitoreo hidroquímico del agua extraída.

La piezometría medida permitió sospechar rangos de ineficiencia hidráulica en el bombeo de algunos pozos, probablemente debido a la antigüedad de algunos de ellos, el material y el tipo de área abierta de los filtros utilizados, y la falta de mantenimiento anual requerida por no contar con el equipamiento y el conocimiento necesarios.

La próxima etapa, consistirá en relacionar las automatizaciones con un rango predeterminado de descensos admisibles de los niveles dinámicos de las perforaciones de abastecimiento, asociado con el control de las características hidroquímicas, para avanzar en un modelo de gestión integral del servicio, que permita disminuir las pérdidas hidráulicas detectadas que inciden directamente sobre el gasto energético de los equipos de bombeo.

## Conclusiones

Se puede concluir que la instrumentación alcanzada a la fecha, ha permitido disminuir los costos operativos del sistema de bombeo entre un 8 y 24%, atenuando los conos de depresión locales por efecto del bombeo.

Pese a algunas dificultades iniciales con la medición de caudales reales de funcionamiento, se han podido detectar caudales característicos de alrededor de 13 m<sup>3</sup>/h.m (Pozo N° 8), que permiten estimar caudales máximos de alrededor de 160 m<sup>3</sup>/h, para niveles estáticos que permanecen dentro de los medidos inicialmente en los primeros pozos, según los antecedentes de Obras Sanitarias de La Nación.

La implementación de la próxima etapa permitirá desarrollar en el corto plazo un sistema de monitoreo permanente y automatizado, un plan de mantenimiento con equipos y personal local, para poder también así desarrollar propuestas y planificaciones de mediano y largo plazo derivadas de estas investigaciones y en el marco de un manejo sostenible de los recursos hídricos subterráneos, quedando demostrada la importancia del círculo virtuoso que se ha generado.

## Agradecimientos

A la Municipalidad de Nogoyá que realizó el mayor esfuerzo para llevar adelante las mediciones y el control de los consumos energéticos, ejecutando las acciones y adquisiciones que posibilitaron los logros obtenidos.

Al Área de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Secretaría de Energía del Gobierno de Entre Ríos, que aportó a las investigaciones con la provisión de los equipos mencionados, movilidad y apoyo logístico.

Al Centro para la Gestión Local Sostenible del Agua y el Hábitat Humano (CEGELAH), Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Entre Ríos, que mediante el Proyecto "Diagnóstico de Eficiencia Hidro\_Energética en el Servicio Municipal de Agua y Saneamiento de Nogoyá – Entre Ríos", dirigió las investigaciones realizadas.

### **Referencias**

- Aceñolaza, F.G. 2007. "Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina".
- Comisión Mundial Sobre El Medio Ambiente y El Desarrollo De Las Naciones Unidas. 1987. "Nuestro Futuro Común" (Informe Brundtland). Alianza Editora, Madrid (España).
- Encuesta de Hogares Municipalidad de Nogoyá. 2008
- Fili, M.; Tujchneider, O.; Perez, M.; Paris, M. y D'Elia, M. 1995. "Ground Water Researches in the Entre Ríos Province. Argentina. XXVI Congress of the International Association of Hydrogeologist. Edmonton. Canada.
- Pimentel Gomes H. y P. S. Oliveira De Carvalho. 2009. Manual de Sistemas de Bombeamento-Eficiencia Energética. Editorial Universitaria-UFPV.
- Tomas, J.; R. Valenti; O. Duarte; S. Graizaro y H. Sione, H. 1999. "Aptitud del Agua subterránea con destino a riego en sectores de los departamentos Paraná, Diamante y Nogoyá de la provincia de Entre Ríos". Serie Correlación Geológica 13, 279-286.
- <http://www.censo2010.indec.gov.ar>