

## **CONTRIBUCIÓN A LA PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LA PROVINCIA CIEGO DE ÁVILA**

**UNIDAD EJECUTORA PRINCIPAL DEL RESULTADO:** Centro de Investigaciones de Bioalimentos (CIBA)

**OTRAS UNIDADES PARTICIPANTES:** Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Ciego de Ávila (EAH CA); Empresa de Proyectos e Investigaciones Hidráulicas Ciego de Ávila; Empresa Porcina de Ciego de Ávila; Centro de Investigaciones Agropecuarias Universidad Central de las Villas "Martha Abreu". Santa Clara; Instituto de Investigaciones Porcinas; Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas (INSTEC). La Habana

**AUTORÍA PRINCIPAL:** Vania Mireya<sup>1</sup> Vidal Olivera. (i), Levis Alioska<sup>1</sup>. Valdés González. (i), Yamilé<sup>1</sup> Jiménez Peña. (i)

**OTROS AUTORES:** Rafael<sup>2</sup> González-Abreu Fernández (ii), Alejandro<sup>1</sup> Negrín Brito (ii), Ángel<sup>3</sup> Mollineda Trujillo (ii), Diego<sup>4</sup> Rafael Ulloa (ii).

**COLABORADORES:** Luis<sup>5</sup> Fidel Miranda Castañeda (iii), Marisleys<sup>1</sup> Castro Carrillo (iii), Danay<sup>1</sup> Rodríguez Ramos (iii), Yaima<sup>1</sup> Tuero González. (iii), Hilda<sup>1</sup> Sánchez López. (iii), Sachet de las Mercedes<sup>1</sup> Morales Pedraza (iii).

**FILIACIÓN:** (1) Centro de Investigaciones de Bioalimentos (CIBA), (2) Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Ciego de Ávila, (3) Centro de Investigaciones Agropecuarias Universidad Central de las Villas. Santa Clara, (4) Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas (INSTEC), (5) Empresa de Proyectos e Investigaciones Hidráulicas Ciego de Ávila.

### **AUTORA PARA LA CORRESPONDENCIA:**

Yamilé Jiménez Peña,

Calle Sordo No 22 e/ Calle Patria y Calle 6. Morón, Ciego de Ávila. CP 67210

Email: [yamile@cibacav.cu](mailto:yamile@cibacav.cu)

**RESUMEN:**

Los resultados científicos que se presentan en esta obra son una contribución al desarrollo de una estrategia integrada para la protección de los recursos hídricos en la provincia Ciego de Ávila, sobre la base de propuestas de programas para el manejo de recursos hídricos; estudios de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos relacionados con el Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila (GHNCA) y la gestión de residuales porcinos a través de ciclo cerrado de producción como aspecto esencial e integrador en la sostenibilidad agropecuaria. Los estudios van desde propuestas de programas que permitan restaurar las condiciones de los recursos hídricos próximas a las naturales, la cartografía de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, el diseño de un sistema gestión sostenible de la actividad porcina en el sector no especializado de la provincia y la gestión ambiental adecuada de los efluentes derivados de los sistemas de tratamiento por tecnología de digestión anaerobia como ente integrador que contribuye a un menor riesgo de contaminación sobre los recursos naturales. Estas investigaciones fueron realizadas bajo condiciones de producción y ejecutadas por un equipo multidisciplinario de investigadores del Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA), con la colaboración de otras instituciones científicas de la provincia Ciego de Ávila, La Habana y Villa Clara. Por la importancia e impactos alcanzados, dichas investigaciones han sido acreedores de Premios de Academia de Ciencia a nivel territorial. En la mayoría de los casos constituyen los primeros estudios que se realizan en la provincia sobre este tema y que pueden ser aplicados en otras regiones del país. Forman parte de una herramienta en el proceso de toma de decisiones concernientes a la protección y el manejo de los recursos hídricos subterráneos y en el ordenamiento ambiental de la provincia. Estos resultados se han visualizados en 16 artículos científicos publicados en revistas indexadas del Grupo 2 (Ingeniería Hidráulica y ambiental, R. Computarizada de Producción Porcina, Cultivos Tropicales, Centro Agrícolas); eventos nacionales e internacionales. Se defendieron 2 tesis de Maestría, 2 tesis de Diploma y un tema de aspirantura doctoral. Se adjuntan avales de entidades participantes e introducción de resultados correspondiente a cada investigación que forma parte de la propuesta, así como avales pertenecientes a Unidad de Medio Ambiente Ciego de Ávila, Empresa Aprovechamiento Hidráulico Ciego de Ávila, Delegación provincial de la agricultura y la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrado de la Universidad de Ciego de Ávila.

**COMUNICACIÓN CORTA**

**Descripción de los resultados científicos**

La importancia de las aguas subterráneas, tanto para el abastecimiento público como para el agroindustrial es incuestionable. El número de usuarios crece cada día, como consecuencia de la rápida urbanización y de la expansión económica que experimentan los países, así como de las relativas ventajas que presenta el uso de este recurso con relación al de las aguas superficiales. Pero, si bien es absolutamente real la importancia

que tienen las aguas subterráneas, la misma no es tomada muchas veces en consideración para el mantenimiento de su calidad natural, debido principalmente a la acción antropogénica y al manejo inadecuado de los residuales líquidos y sólidos. Sobre la base de esta realidad se deriva la necesidad de iniciar un programa sistemático de protección de acuíferos, pues de no hacerse así puede ser inminente la pérdida del recurso y de las inversiones hechas en el mismo.

Los resultados que se presentan en esta obra hacen un recorrido por las investigaciones que se han desarrollado en torno a una estrategia integrada de protección de los recursos hídricos del territorio avileño, las cuales van desde la propuesta de un programa de manejo de los recursos hídricos, en el ecosistema GHNCA; la cartografía de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos relacionados con el GHNCA, que posibilita diferenciar las características naturales del terreno para proteger al acuífero de la acción de múltiples contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie, asociados a fenómenos naturales o a las actividades agropecuarias, industriales y urbanas desarrolladas en el área, que la mayoría vierten su carga contaminante directamente al medio sin un adecuado y eficiente sistema de tratamiento; la determinación de las Zonas de Protección Sanitarias (ZPS) a las fuentes de abasto en el sector hidrogeológico CA-I-5 de la cuenca norte de la provincia, donde se encuentran las fuentes de abasto más importantes del territorio, el inventario y caracterización de las fuentes contaminantes en este sector, la realización de un mapa integrado de ZPS, vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos y la carga contaminante, el diseño de un sistema gestión sostenible de la actividad porcina en el sector no especializado de la provincia Ciego de Ávila que permitió relacionar la producción porcina no especializada, inventariada como una de las fuentes contaminantes más importante del territorio, con las principales características geológicas, hidrogeológicas y de los suelos, determinar posibles zonas de conflicto entre la producción porcina no especializada y los recursos naturales en la provincia, elaborar el Plan de Manejo Sostenible para la producción porcina no especializada y por último la gestión ambiental de efluentes derivados de la depuración de aguas residuales en el sector porcino no especializado, que permitió por vez primera diagnosticar el funcionamiento de los sistemas por tecnología de digestión anaerobia implementados en la provincia, de conjunto con la evaluación exhaustiva de la calidad de los efluentes que se derivan de estos, a través de indicadores físico químicos y microbiológicos, todo esto, conllevó a conocer el cumplimiento o no de los límites permisibles para la disposición final sobre los recursos naturales según lo dispuesto en la NC27/2012'' Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones'' y las directrices de la OMS para el uso de efluentes tratados, aspectos que condujeron a propuestas de acciones para lograr un manejo adecuado que contribuya a la protección de los recursos naturales. Además, se logró un polígono demostrativo que permitió evaluar los efluentes derivados de la planta de tratamiento de residuales del CIBA en la producción de alimentos a ciclo corto (boniato, tomate, frijol y maíz), como ente integrador en el aprovechamiento de residuales y reducción de impactos sobre los recursos naturales, con énfasis en el recurso hídrico. La mayoría de estas investigaciones fueron validadas bajo condiciones de producción y desarrolladas

por un equipo multidisciplinario de investigadores, siendo en mucho de los casos los primeros estudios que se realizan sobre este tema en la provincia, aspecto que pueden ser aplicados en otras regiones del país.

### **Propuesta de manejo de los recursos hídricos en el Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila.**

El Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila (GHNCA) ha sufrido las consecuencias de cambios en su régimen hidrológico natural, a causa fundamentalmente de las transformaciones realizadas por la acción antrópica. Esta investigación tuvo como propósito principal proponer un programa de manejo de los recursos hídricos, para restaurar las condiciones próximas a las naturales. Como resultado se dividió la propuesta en tres etapas fundamentales: Definición de los objetivos para mantener el abastecimiento de agua para consumo, recarga de acuíferos, reducción de la erosión de los suelos, protección contra inundaciones y la biodiversidad. En la segunda se cuantificaron los problemas relacionados con la cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas, siendo las más significativas el desbalance hídrico, el deterioro de la calidad de las aguas, la sobre explotación de los acuíferos. Se realizó además un modelo teórico conceptual con sus mecanismos de transferencias para un futuro cálculo de balance hídrico y la tercera, la Propuesta la cual se basó en acciones que favorecieron a la prevención, mitigación, recuperación y monitoreo del ecosistema, a través de la integración multidisciplinaria e intersectorial, contribuyeron al uso racional y sostenible de los recursos hídricos y del propio GHNCA.

### **Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos relacionados con el Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila.**

En la provincia de Ciego de Ávila se estima que alrededor del 90 % del agua que se utiliza para la agricultura, la industria, el abasto humano y animal es proveniente del subsuelo, esto se debe a la gran potencialidad y características hidrogeológicas de los acuíferos, ya que por lo general las rocas que lo componen son calizas, margas y dolomitas del Mioseno y estas ocupan más del 70 % del territorio (González- Abreu y Casanova 1999).

Cuenta con dos grandes cuencas hidrogeológicas, separadas por un parte aguas central, al norte la cuenca Morón con 12 sectores hidrogeológicos y un recurso explotable de 577 hm<sup>3</sup> y al sur la cuenca Ciego con tres sectores hidrogeológicos bien definidos y una zona no sectorizada, con un volumen explotable de 386 hm<sup>3</sup>, que suman un total de 963 hm<sup>3</sup> como volumen explotable para la provincia, lo cual representa el 72 % con respecto al potencial total que es de 1336 hm<sup>3</sup>. (González-Abreu 1986).

Prácticamente todo el recurso hídrico subterráneo que se encuentra en la cuenca Morón

está relacionado con el GHNCA y no solamente la cantidad si no la calidad del agua que llega a él es importante. Es por eso que el resultado de la investigación constituyo una herramienta más en la protección de los recursos hídricos subterráneos, si se tiene en cuenta que en esta cuenca hidrográfica se encuentran 61 focos contaminante registrados en el inventario nacional (Jiménez et al. 2003) más otras fuentes surgidas a raíz del auge de la producción porcina no especializada, las mini industrias y otras, que vierten su carga contaminante directamente al medio sin un adecuado y eficiente sistema de tratamiento.

Los estudios realizados a partir del método DRASTIC (Aller *et al.* 1987), reconocido y aplicado en muchos países del Continente Americano y el Caribe, permitieron la obtención del mapa de vulnerabilidad a la contaminación que combina varios mapas temáticos correspondientes a los parámetros (Profundidad del agua subterránea, Recarga neta, Litología del acuífero, Tipo de suelo, Topografía, Naturaleza de la zona no saturada, Conductividad hidráulica del acuífero), demostrándose que los grados de vulnerabilidad alto y muy alto ocupan un área del 87.9 % con relación a la total, indicando la exposición del acuífero, a partir de sus características naturales, a la contaminación de las aguas subterráneas, por lo que el mapa de vulnerabilidad a la contaminación constituyo una herramienta en el proceso de toma de decisiones concernientes a la protección y el manejo de los recursos hídricos subterráneos, así como en los planes de ordenamiento ambiental del territorio.

#### **Gestión de la calidad de las aguas subterráneas. Caso de estudio: sector hidrogeológico CA-I-5 cuenca Morón, provincia Ciego de Ávila.**

Una herramienta en el ámbito local para la protección de las aguas subterráneas es la determinación de perímetros de protección de pozos de agua potable. El perímetro de protección delimita un área en el entorno de la captación de agua en la cual, de forma graduada, se restringen o prohíben las actividades o instalaciones susceptibles de contaminar las aguas subterráneas, o que afecten al caudal realmente aprovechable para el abastecimiento a la población. Al establecer un perímetro de protección es necesario encontrar un equilibrio entre una protección adecuada y suficiente del recurso, y el respeto, en la medida de lo posible, de la actividad socioeconómica de la región circundante (Espinosa et al, 2004)

La determinación de las ZPS se realiza a través de la NC 93-01-209/1990 con la ayuda de un software PROTZON, realizado por Batista et al, 1994 en colaboración Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) con el Centro Nacional de Hidrología y Calidad de las Agua (CENHICA), 1994. Como resultado se determinaron las tres ZPS para cada una de las fuentes de abasto identificadas en este sector hidrogeológico y las actividades que se realizan en cada una de ellas.

Una de las mayores dificultades de un programa de protección de aguas subterráneas

es establecer cuáles son las actividades antrópicas que requieren mayor atención ambiental. La gran cantidad y complejidad de actividades existentes en un área, sumada a los elevados costos de investigaciones detalladas y del monitoreo hidrogeológico, obliga a los órganos de control ambiental a llevar a cabo una estrategia de identificación de actividades o zonas de mayor peligro de contaminación de los acuíferos (Hirata, 2002)

El inventario de las fuentes contaminantes se realizó por el método POSH, propuesto por Foster e Hirata, 1988 y Foster et al, 2001.

Como resultado del inventario y la caracterización de las fuentes contaminantes, se realizó un mapa integrado de Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, las ZPS a las fuentes de abasto y la carga contaminante, con la ayuda de un SIG, que constituye una herramienta de trabajo importante para decisores, investigadores y especialistas dedicados a la protección ambiental del territorio.

### **Propuesta de un sistema de gestión sostenible para la producción porcina a pequeña y mediana escala. Estudio de caso Ciego de Ávila.**

El desarrollo de la porcicultura en la provincia Ciego de Ávila se ha orientado a la producción no especializado, incrementando de modo gradual el inventario de convenios porcinos en el sector privado y estatal a más de 268 contratos, con una población porcina de más de 46 596 cabezas, distribuidas en los 10 municipios, destacándose los territorios de Florencia, Ciego de Ávila y Venezuela (Estadística INRH). La entrega de tierras en usufructo a través del Decreto- Ley 259 repercutió en el aumento acelerado de la producción porcina y en el incremento de la contaminación ambiental derivada de la actividad, una vez que dicho crecimiento no se inserta en los planes de ordenamiento territorial o ambiental. Este resultado contribuyó al fomento e implementación de más de 50 plantas de tratamiento por D.A, como componente fundamental en los sistemas de gestión sostenible de la producción porcina a pequeña y mediana escala, teniendo en cuenta el vínculo entre la necesidad de producir alimentos proteicos de origen animal y la necesidad de proteger el medio ambiente, permitió identificar las zonas de mayor conflicto entre la producción porcina no especializada y los recursos naturales en la provincia Ciego de Ávila, teniendo en cuenta para ello las características geológicas, hidrogeológicas y los suelos del territorio en relación con la ubicación geográfica de los más de 268 convenios porcinos, con la ayuda de un SIG, por lo que se logró delimitar tres tipos de zonas (alto, medio y bajo conflicto). Además, se obtuvo el plan de manejo sostenible de la actividad en el sector no especializado por zonas de conflicto que ofreció una herramienta para la toma de decisiones de los directivos del sector, a través de acciones concretas que mitigan los posibles impactos de la actividad sobre el medio ambiente y en particular sobre los recursos hídricos.

### **Aprovechamiento de los efluentes generados en el tratamiento por digestión**

**anaerobia de los residuales porcinos.**

Según la FAO, 2013, la reutilización en la agricultura de las aguas residuales tratadas es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua. Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits hídricos. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. Los proyectos de reutilización del agua pueden ofrecer un doble o incluso triple “beneficio”, para los usuarios urbanos, agricultores y el medioambiente.

Con esta investigación se logro establecer como polígono demostrativo la planta de tratamiento del Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA), compuesta fundamentalmente por un digestor de primera generación, tipo cúpula fija de 60 m<sup>3</sup> de volumen operacional y tiempo de retención hidráulico de 30-40 días, con tratamiento secundario para los efluentes a través de lechos de secado y laguna de estabilización, que permitió a partir de los estándares de calidad de los efluentes de dicho sistema, aprovecharlos de manera integral como alternativa sostenible en la producción de alimentos de ciclo corto.

Los resultados asociados a la caracterización física - química y sanitaria demostraron que tanto el biosólido como el agua residual tratada tienen potencialidades para ser aplicados en la agricultura como alternativa viable para su disposición final. La evaluación del efecto agronómico de dichos efluentes en los indicadores fenológicos en cultivos de ciclo corto (frijol, tomate y maíz) contribuyo a rendimientos productivos alentadores a pequeña escala, resultados que han sido el pilar impulsor para su generalización e implementación en las fincas de productores porcinos como una de las alternativas agroecológicas que les permite producir alimentos con un menor riesgo de contaminación y principalmente contribuir al aprovechamiento de la reducción de carga contaminante producida por su actividad y que es dispuesta sobre los recursos naturales sin un adecuado manejo. Se elaboró además un procedimiento operacional que estableció todas las acciones a tener en cuenta para alcanzar un manejo ambientalmente adecuado en todas las empresas e instalaciones agropecuarias que generen residuales y realicen su proceso depurativo a través del tratamiento de digestión anaerobia. De modo general, los resultados alcanzados forman parte de una herramienta de trabajo de la Delegación de la Agricultura de la provincia.

**Gestión ambiental de efluentes de sistemas de tratamiento en el sector porcino no especializado de la provincia Ciego de Ávila.**

En la provincia Ciego de Ávila se dan pasos concretos en el fomento e implementación de la Digestión Anaerobia de residuales, como componente fundamental en los sistemas de gestión sostenible de la producción porcina a pequeña y mediana escala. Sin embargo, se hace imprescindible lograr un ciclo cerrado de producción que permita el uso ambientalmente seguro de los efluentes del sistema,

pues su disposición y rehúso de manera inadecuada contribuye a la contaminación de los cuerpos de agua y puede crear problemas de deterioro y salinización de los suelos, toxicidad de las plantas, riesgos químicos y biológicos para la salud de los animales y los seres humanos. Así mismo, un estricto cumplimiento de las normas establecidas por los organismos nacionales e internacionales para su rehúso en riego agrícola, un adecuado nivel de información técnico sanitaria de todos los factores que intervienen en el uso productivo de estas aguas, permitiría el aprovechamiento seguro de un gran volumen de agua con gran valor agronómico (Jiménez, 2010)

Estos estudios realizados por vez primera vez, visualizaron la situación actual referida a la gestión de efluentes en el sector porcino no especializado de la provincia y el impacto que ejercen sobre el medio ambiente, a través del diagnóstico del 75 % de los sistemas de tratamiento por tecnología de D.A y la evaluación exhaustiva del 100 % de los efluentes derivados de estos sistemas, a través de indicadores físico- química y sanitarios, demostraron el incumplimiento de los límites establecidos en la NC 27/2012 y la OMS 2006, lo que conllevó a la aplicación de acciones inmediatas mediante asesorías técnicas, capacitaciones que permitieron una mayor concientización y responsabilidad en el manejo de estos por parte de los productores agropecuarios de la provincia, lo cual se tradujo en un mejor desempeño productivo, se demostró además la necesidad de alcanzar un ciclo cerrado de producción porcina a pequeña y mediana escala que contribuyo de manera ambientalmente segura a la protección de los recursos naturales y al bienestar de la calidad de vida de los productores agropecuarios de la provincia Ciego de Ávila. Por otro lado, estos resultados han constituido una herramienta de trabajo para la Empresa Porcina del territorio, permitiendo establecer las pautas de una porcicultura sostenible a pequeña y mediana escala con la consiguiente mitigación de la contaminación ambiental ejercida por este sector.