

INFORME CIENTÍFICO TÉCNICO

PROGRAMA: Uso sostenible de los componentes de la diversidad biológica de Cuba.

TÍTULO DEL PROYECTO: Protección a las fuentes de abasto de agua en el sector hidrogeológico CA-I-5 de la cuenca norte de la provincia Ciego de Ávila.

CÓDIGO: P211LH005-039

INSTITUCIÓN EJECUTORA: Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA)

FECHA DE TERMINACIÓN: Noviembre 2019

| Índice | |
|--|----------|
| Resumen | |
| I. Introducción | 1 |
| II. Materiales y Métodos | 3 |
| II.1 Para la determinación del peligro a la contaminación en las fuentes de abasto. | 3 |
| II.1.1 Para la determinación de la Vulnerabilidad ambiental en las fuentes de abasto. | 6 |
| II.2 Para la propuesta y evaluación alternativa de un sistema de tratamiento de residuales (humedal artificial) | 7 |
| II.3 Para la Propuesta de un programa de gestión para la protección de los recursos hídricos subterráneos del sector hidrogeológico CA-I-5. | 7 |
| III.RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 8 |
| III.1 Determinación del peligro a la contaminación y vulnerabilidades en las fuentes de abasto. | 8 |
| III.1.1 Determinación de las zonas de protección sanitarias (ZPS) de las fuentes de abasto humano en el sector hidrogeológico CA-I-5 cuenca Morón. | 8 |
| III.1.2 Inventario de las fuentes potencialmente contaminantes en el sector hidrogeológico CA I-5 cuenca Morón, provincia Ciego de Ávila. | 13 |
| III.1.2.1 Inventario de fuentes contaminantes. | 13 |
| III.1.2.2 Clasificación y estimación de la carga contaminante al subsuelo. | 17 |
| III.1.2.3 Clasificación y categorización de las fuentes contaminantes de acuerdo al método POSH. Potencial de carga contaminante. | 19 |
| III.1.2.4 Caracterización de la carga contaminante asociada a las fuentes inventariadas en el sector CA-I-5. | 22 |
| III.1.2.4.1 Calidad físico- química de Fuentes de contaminación Puntuales. Actividad agropecuaria. | 22 |
| III.1.2.4.2 Calidad físico química de Fuentes de contaminación Puntuales. Actividad industrial. | 24 |
| III.1.2.4.3 Calidad físico química de Fuentes de contaminación Puntuales. Actividad Desarrollo urbano. | 26 |
| III.1.2.4.4 Calidad sanitaria de las fuentes de contaminación puntuales en el sector CA-I-5. | 27 |
| III.1.3 Mapa integrado de Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, zonas de protección sanitarias a las fuentes de abasto y de carga contaminante, en el sector CA-I-5. Determinación del peligro de contaminación. | 30 |
| III.1.4 Determinación de la vulnerabilidad ambiental de las fuentes de abasto del sector hidrogeológico CA-I-5 de la cuenca norte de la provincia Ciego de Ávila, teniendo en cuenta los escenarios de cambio climático. | 35 |
| III.1.4.1 Disponibilidad del recurso por fuentes. | 35 |
| III.1.4.2 Disponibilidad de agua por fuentes (índice de fallo) | 39 |
| III.1.4.3 Ubicación de la fuente con relación al peligro de Sequía. | 39 |

| | |
|--|----|
| III.1.4.4 Calidad del agua. | 40 |
| III.1.4.5 Degradación ambiental. | 48 |
| III.1.4.6 Valoración de la Vulnerabilidad Ambiental. | 49 |
| III.1.4.7 Incidencia del cambio climático en la disponibilidad de agua potable. | 52 |
| III.1.4.7.1 Impactos en la disponibilidad de agua. | 53 |
| III.2 Propuesta y evaluación alternativa de un sistema de tratamiento de residuales (humedal artificial). | 54 |
| III.2.1 Resultados de la evaluación del sistema de tratamiento de residuales del CIBA. | 54 |
| III.2.2 Análisis del funcionamiento del humedal artificial como tratamiento terciario de las aguas residuales porcinas en el CIBA. | 59 |
| III.3 Propuesta de programa de gestión para la protección de los recursos hídricos subterráneos del sector hidrogeológico CA-I-5. | 73 |
| III.3.1 Responsabilidad Institucional en la protección de los recursos hídricos. | 73 |
| III.3.2 Estrategias para el control de la contaminación. | 73 |
| III.3.2.1 La prevención de la contaminación futura. | 73 |
| III.3.2.2 Manejo de las Fuentes de Contaminación Existentes. | 73 |
| III.3.2.3 Contaminación histórica de terrenos. | 74 |
| III.3.2.4 Selección de Nuevas Áreas de Abastecimiento de Agua Subterránea. | 74 |
| III.3.2.5 Determinación de los niveles prioritarios para el control de la contaminación. | 74 |
| III.3.2.6 Problemática identificada y propuesta de acciones según la actividad contaminante. | 78 |
| III.3.3 Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas. | 81 |
| III.3.3.1 Red de monitoreo en el sector hidrogeológico CA-I-5. | 81 |
| III.3.3.2 Limitaciones de muestreo en los pozos de explotación. | 81 |
| III.3.3.3 Monitoreo sistemático para el control de la contaminación de las aguas subterráneas. | 82 |
| Bibliografía. | 83 |
| Anexos. | |

RESUMEN

Siendo uno de los problemas más crítico y actuales no sólo el agotamiento cuantitativo, sino el cualitativo de los recursos hídricos, es que tuvo como objetivo este proyecto contribuir a la protección de las fuentes de abasto de agua en el sector hidrogeológico CA-I-5 de la cuenca norte de la provincia Ciego de Ávila, a través de estrategias que permiten la determinación del peligro de contaminación dentro de las zonas de protección sanitarias de las fuentes de abasto, con la integración del mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero y carga contaminante en el sector, la vulnerabilidad ambiental a partir de indicadores de disponibilidad, calidad y degradación ambiental en escenarios actuales y futuros de cambio climático, la implementación de humedales artificiales como sistema de tratamiento secundario para las aguas residuales provenientes de la actividad porcina, así como la propuesta de un programa de gestión para la protección de las aguas subterráneas, que en su conjunto constituyen una herramienta de trabajo para decisores, especialistas e investigadores asociados a la gestión ambiental y la protección del recurso agua, teniendo en cuenta que en las zonas de captura y alimentación de las fuentes, se desarrollan actividades que pueden incidir en la calidad del agua, por lo que se evalúan de alto y medio peligro de contaminación y una vulnerabilidad ambiental media, por lo que el programa de gestión incluye los niveles prioritarios para el control de la contaminación tanto para el sector en general como para las zonas de protección sanitarias.

I. Introducción

El creciente desarrollo de la explotación de las aguas subterráneas ha sido muy positivo, pues ha contribuido por una parte a reducir de modo muy significativo la escasez de alimentos y, por otra parte, ha facilitado el suministro de agua potable a centenares de millones de seres humanos, tanto en las zonas rurales y económicamente deprimidas, como en países altamente industrializados.

Esta tan generalizada situación a nivel mundial explica que en algunas zonas la extracción de aguas subterráneas haya dado lugar a diversos tipos de problemas, Custodio, (1996, 1997), entre los que cabe mencionar: la degradación de la calidad de las aguas bombeadas, principalmente en las zonas costeras, pero también en el interior del continente.

De acuerdo con Llamas (1998), estos impactos o efectos negativos pueden clasificarse en estos cinco grupos:

- descenso de los niveles del agua en los pozos de bombeo, que puede conducir a la pérdida de caudal e incluso a su desecación, o a una exigencia de energía elevada que haga que el aprovechamiento sea económicamente inviable;
- degradación de la calidad química y microbiológica, al inducir la entrada de aguas superficiales o subterráneas de inferior calidad. Este proceso es especialmente frecuente en los acuíferos costeros o por la actividad humana.
- subsidencia o colapso del terreno, debido al cambio en la situación de tensiones en el terreno generada por las alteraciones en la presión de agua producidas por los bombeos;
- afección a los caudales de los cursos de agua conectados con el acuífero;
- impacto ecológico en los ecosistemas acuáticos (especialmente en humedales y bosques en galería), debido al descenso del nivel freático.

Dentro de las estrategias que tienen muchos países incluyendo a Cuba, para la protección de la calidad de las aguas subterráneas se encuentra la determinación de las Zonas de Protección Sanitaria (ZPS) o Perímetros de Protección de Pozos (PPP), junto a la determinación de la Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos y las fuentes de abasto, Espinosa *et al* (2004), basados en leyes y normas relativas al régimen de aguas y la lucha contra la contaminación. La clasificación de cargas contaminante también se encuentra dentro de las estrategias para la protección de la calidad de las aguas subterráneas. Es una importante herramienta para identificar las actividades que presentan la mayor probabilidad de generación de significativas cargas contaminantes al acuífero, así como la evaluación de los peligros de contaminación de las aguas, que es un prerequisite esencial para la protección de los recursos hídricos subterráneos, ya que identifica aquellas actividades humanas que tienen la mayor probabilidad de tener impactos negativos sobre el acuífero y así indica la priorización de las medidas de control y mitigación

necesarias, tales como, el establecimiento de sistemas de tratamientos para aguas residuales adecuados por cada actividad.

Los sistemas de tratamiento más utilizados en el territorio para las actividades agropecuarias e industriales son las lagunas de estabilización y los tratamientos por digestión anaerobia para la producción pecuaria. Sin embargo, aún no es suficiente la labor que se lleva a cabo en la provincia Ciego de Ávila por disminuir la carga contaminante vertida al medio, pues persisten los problemas de contaminación debido al vertimiento de residuales con mal, regular o ningún tratamiento a los cuerpos receptores del territorio, incumpléndose con la NC 27/2012. Se hace necesario entonces, incorporar alternativas sustentables de limpieza de aguas residuales, como procesos secundarios, terciarios, que mejoren la eficiencia de los sistemas de tratamiento existentes y permitan obtener aguas tratadas con la calidad adecuada para ser vertidas o reusadas en otras actividades.

Entre las ecotecnologías que se pueden combinar con las anteriormente mencionadas, se citan los humedales artificiales.

Comparado con los procesos de tratamiento de aguas convencionales, los humedales artificiales son tecnologías económicas, medioambientalmente amigables y sostenibles, debido a sus bajos costos, de fácil operación y con poco mantenimiento, los cuáles reproducen los procesos físicos, fisiológicos y biológicos de los humedales naturales Vymazal, (2011). Éstos sistemas han sido empleados para la remoción de contaminantes de un amplio rango de aguas residuales, tales como: industriales, domésticas y agroindustriales, e inclusive en el tratamiento de lixiviados de los rellenos sanitarios, Saeed y Sun, (2012).

En Cuba las aguas subterráneas tienen un potencial de 6457 hm³ (17 % del total), pero solamente están disponibles 4495 hm³ (33 % del total). La provincia Ciego de Ávila se encuentra entre las tres de más volumen explotable, con 963 hm³. Hidrogeológicamente se divide en 15 sectores, 12 en la cuenca norte de la provincia y 3 en la sur. Las cuencas subterráneas se ubican en la cuenca norte desde el parte aguas hacia los límites del Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila y en el sur inician desde una franja paralela al parteaguas, no sectorizada, hacia el humedal del sur, por lo que son abiertas al mar.

Entre los sectores hidrogeológicos de la cuenca norte se encuentra el CA-I-5 con 219 km², con un recurso dinámico de 70.6 hm³ y explotable de 52.9 hm³. En él se ubican las fuentes de abasto más importantes de la provincia como por ejemplo: Ruspoli, que abastece al 60 % de los habitantes del municipio cabecera y Patria III que abastece al poblado de la Isla de Turiguanó y al destino turístico Jardines del Rey (Cayo Coco, Guillermo y Paredón).

Entre las actividades más importantes que se desarrollan en el sector CA-I-5 se destacan el desarrollo urbano con asentamientos poblacionales en crecimiento, la actividad agropecuaria, industrias y el desarrollo porcino, entre otros, que vierten sus residuales al medio a través de regulares, deficientes o inexistentes

sistemas de tratamiento, que pudiera incidir en la calidad de las aguas subterráneas del sector.

Por lo que el **objetivo general** de este proyecto de investigación es contribuir a la protección de las fuentes de abasto de agua en el sector hidrogeológico CA-I-5 de la cuenca norte de la provincia Ciego de Ávila.

Con los siguientes **objetivos específicos**:

1. Determinar el peligro a la contaminación y las vulnerabilidades de las fuentes de abasto de agua en el sector CA-I-5.
2. Proponer y evaluar alternativa de un sistema de tratamiento de residuales (humedal artificial)
3. Proponer un programa de gestión para la protección de los recursos hídricos subterráneos del sector hidrogeológico CA-I-5.

II. Materiales y Métodos

II.1 Para la determinación del peligro a la contaminación en las fuentes de abasto:

- La metodología propuesta por Foster (1987) y Foster; Hirata (1988), que proponen un esquema conceptual, donde el peligro es definido como la interacción entre la intensidad de la carga contaminante antrópica y la vulnerabilidad del acuífero. De manera análoga, el concepto de peligro se extiende para los manantiales de abastecimiento de agua potable, a partir de la interacción entre las Zonas de Protección Sanitarias (ZPS) y las cargas contaminantes que estén ubicadas en las áreas más próximas a la captación. La evaluación se realiza en tres categorías: Elevado, moderado y bajo.
- El Mapa de Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas de la cuenca norte de la provincia Ciego de Ávila, según Vidal *et al.* (2015). (Anexo 1)
- Las ZPS se determinaron por un método analítico, según la metodología propuesta en la NC 1192/ 2017 con ayuda del programa PROTZON que facilita el cálculo de las ZPS, Batista *et al.* (1994).

La información básica necesaria para la delimitación de las ZPS está relacionada con (Anexo 2):

- ✓ Información sobre la fuente: Caudal de extracción (Q , m^3/d), abatimiento, (A , m), Radio del pozo (r_p , m)
- ✓ Información sobre el manto u horizonte acuífero en explotación: Conductividad hidráulica (K_d , m/d), espesor del acuífero (H_0 , m), H_p (H_0-A), Gradiente natural del flujo subterráneo (IN), Tiempo de supervivencia de la bacteria (t , d), coeficiente de almacenamiento (μ)
- ✓ El método analítico empleado considera:

1. Cálculo de la velocidad del flujo subterráneo (1)

$$V_x = -\frac{Q}{2\pi h_0 X \mu} \quad (1)$$

2. Planteando la ecuación de forma integral y considerando que t_d al llegar la bacteria a la cara del pozo ($X = r_p = X_p$), posteriormente integrando y despejando DPS se obtiene ecuación (2).

$$DPS = \sqrt{\frac{Q}{\pi h_0 \mu} t_d + X_p^2} \quad (2)$$

Donde:

DPS_ Distancia de protección sanitaria, m

3. Se calcula las asíntotas o bordes de la región productiva en sentido perpendicular al flujo (Y_0) y el punto de estancamiento (X_0) por las ecuaciones (3) y (4)

$$Y = \frac{Q}{2KD.H_0.IN} \quad (3)$$

Dónde: Y- Asíntotas o bordes de la región productiva en sentido perpendicular del flujo, m

$$X_0 = \frac{Q}{2\pi.KD.H_0.IN} \quad (4)$$

Donde X_0 - Punto de estancamiento, m

- ✓ Materiales cartográficos
- ✓ Calidad de las aguas de las fuentes de abasto: La caracterización de las aguas de consumo se realizó en el laboratorio de la Empresa Nacional de Servicios Técnicos (ENAST), perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en Ciego de Ávila, con las siguientes determinaciones:

| Ensayo | Nombre | Documentación que ampara el ensayo | Método |
|---------------------------------|----------------------------|---|---------------------------------|
| *CO ₃ ²⁻ | Carbonato | PA03 Procedimiento analítico para el ensayo de Carbonato, Hidrógenocarbonato y Alcalinidad | Método de valoración |
| *HCO ₃ ¹⁻ | Bicarbonato | | |
| *Ca ²⁺ | Calcio | PA06 Procedimiento analítico para el ensayo de Calcio, Magnesio y Dureza Total | Método de valoración con EDTA |
| *Cl ¹⁻ | Cloruro | PA 04 Procedimiento analítico para el ensayo Cloruro. | Método Argentométrico |
| *CE | Conductividad Eléctrica | PA02 Procedimiento Analítico para el Ensayo de Conductividad Eléctrica (CE). | Método Conductimétrico |
| *Mg ²⁺ | Magnesio | PA06 Procedimiento analítico para el ensayo de Calcio, Magnesio y Dureza Total | Método de valoración con EDTA |
| *pH | Potencial de hidrógeno | PA01 Procedimiento Analítico para el Ensayo de pH. | Método Electrométrico |
| CTT | Coliformes Termotolerantes | PA21 Determinación del Número Más Probable de Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes | Tubos múltiples de fermentación |
| CT | Coliformes Totales | | |
| E. coli | Escherichia coli | PA26 Determinación del Número más Probable de Escherichia coli | Tubos múltiples de fermentación |
| *Dza. | Dureza | PA06 Procedimiento analítico para el ensayo de Calcio, Magnesio y Dureza Total | Método de valoración con EDTA |
| *Alc. T | Alcalinidad Total | PA03 Procedimiento analítico para el ensayo de Carbonato, Hidrógenocarbonato y Alcalinidad. | Método de valoración |

**Ensayos que cumplen los requisitos de la Norma Cubana NC ISO/IEC 17025:2006 y están acreditados por el Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC).*

Para el análisis de la calidad de las aguas de consumos se tomaron los resultados de los laboratorios y se compararon con las normas:

NC 93-03/1985. Higiene Comunal. Sistema de abastecimiento público de agua. Requisitos sanitarios. (Obligatoria)

NC 827/2010. Agua potable. Requisitos sanitarios.

NC 1021/2014. Higiene comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria.

- La identificación de las fuentes potencialmente contaminantes se realizó por la metodología POSH, propuesta por Foster e Hirata, (1988) y Foster *et al*, (2001), tanto en el sector hidrogeológico como dentro de las zonas de protección sanitarias de las fuentes de abasto, donde se relaciona la carga contaminante y la carga hidráulica a través de los siguientes aspectos:
 - ✓ Procedimiento de Recopilación de Datos Básicos: Diseño del Inventario de Cargas Contaminantes y Características de la Carga Contaminante al Subsuelo. (Anexo 3)
 - ✓ Clasificación de la Carga Contaminante al Subsuelo: Ocurrencia Espacial y Temporal y Método POSH para la Caracterización de la Carga (el origen del contaminante (Pollutant Origin) y su sobrecarga hidráulica (Surcharge Hydraulically)). (Anexo 4 y 5)
- Mapa del potencial de carga contaminante por el método POSH, Foster *et al*, (2001), donde una vez evaluado la calidad físico química y sanitaria de las fuentes puntuales enmarcadas en el sector hidrogeológico CA-I-5, se definieron de forma cualitativa dependiendo del tipo de actividad, en elevado, moderado y bajo.
- Evaluación de la calidad físico química y microbiológica de aguas residuales líquidos municipales, industriales y agropecuarias.

Las muestras compuestas de 24 horas del efluente vertido al subsuelo de las fuentes monitoreadas se tomaron a la salida de cada sistema de tratamiento implementado en las fuentes objeto de estudio. A las mismas se le determinó según APHA, 1998:

- ✓ Composición físico – química: DQO, DBO₅, pH, Potasio, Sodio, Fósforo total, **Conductividad Eléctrica, Nitritos, Fosfatos, Sulfatos, Sólidos Disueltos** Totales y Sólidos Sedimentables
- ✓ Composición microbiológica: Coliformes totales, Indicador bacteriológico de contaminación (Coliformes termotolerantes), patógeno (*Escherichia coli*)

Una vez evaluada de manera cuantitativa la calidad química y sanitaria de los residuales derivados de las fuentes puntuales, se procedió a mapear, según método POSH, la carga contaminante al subsuelo en el sector CA-I-5, que tiene implícito tres clasificaciones REDUCIDO, MODERADO, ELEVADO para conocer las zonas vulnerables de riesgo de contaminación de las fuentes de abasto.

II.1.1 Para la determinación de la Vulnerabilidad ambiental en las fuentes de abasto:

Se utilizó un algoritmo simple sobre el Análisis Multi-Criterio (AMC). Estableciéndose indicadores de la vulnerabilidad ambiental, valoradas de conjunto con el grupo multidisciplinario de trabajo del proyecto, en tres categorías, Alta, media y baja.

Los indicadores se establecieron a partir del diagnóstico realizado a las fuentes:

- Características generales de la fuente (ubicación en el sector hidrogeológico)
- Cumplimiento de la NC 1192/2017. Determinación de las Zonas de Protección Sanitaria (ZPS) en fuentes de abasto de agua subterránea. Específicamente la identificación de las actividades que se consideran dañinas o no admisibles en las diferentes ZPS.
- Características hidrogeológicas del acuífero donde se ubica la fuente de abasto.
- Comportamiento hiperanual de los niveles de las aguas subterráneas para la actualización de los Gráficos de Control de Balance de las fuentes de abasto y del Sector Hidrogeológico CA-I-5.
- Comportamiento de la recarga y descarga hiperanual, período lluvioso.
- Comportamiento de las precipitaciones anuales
- Comportamiento de las extracciones.
- Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas de abasto a la población.
- Resultado de la determinación del peligro a la contaminación (mapa integrado: Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, zonas de protección sanitarias y mapa de carga contaminante), realizado por el método POSH, Jiménez et al, (2018)

Indicadores:

- Disponibilidad del recurso por fuentes
- Calidad del agua
- Degradación ambiental

II.2 Para la propuesta y evaluación alternativa de un sistema de tratamiento de residuales (humedal artificial)

Diseño experimental: se diseñó un experimento 3^2 con dos factores (especies vegetales y tiempo de retención hidráulica). El experimento consta de 9 tratamientos resultantes de la combinación de cada nivel del factor especie, con cada nivel del factor tiempo de retención hidráulica, además de un tratamiento control sin la presencia de las especies de plantas (organismos remediadores). Un total de tres réplicas por tratamiento, para un total de 30 unidades experimentales.

Análisis y evaluación de los residuales líquidos porcinos en la entrada y salida del biodigestor, así como en la salida del filtro o lecho de secado y cada tratamiento.

Los ensayos a las aguas residuales se realizaron en el laboratorio de la Empresa Nacional de Servicios Técnicos (ENAST), perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en Ciego de Ávila: (pH, Temperatura, Sólidos Totales suspendidos, Conductividad eléctrica, demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo (P), potasio (K), nitrógeno (N), zinc (Zn), coliformes termotolerantes (CTT), coliformes totales (CT)) utilizando la metodología APHA, 1995 y la evaluación a través de la NC 27 (2012).

Especies de plantas propuestas: *Typha dominguensis* (macío), *Eleocharis interstincta* (junquillo) y *Cyperus imbricatus* (junco).

Evaluación de especies vegetales basada en los criterios de variación fisiológica y su eficiencia en el proceso de remoción de contaminantes y agentes patógenos basado en criterios botánicos de variación fisiológica y medidas de éxito de establecimiento óptimo de las plantas, extrapolando la metodología de Cerabolini *et al.* (2004) para la germinación de semillas, puesto que los rizomas son diásporas análogas a las semillas

Análisis estadístico de resultados: se realiza con el procesador estadístico SPCS en su versión 15.

II.3 Para la Propuesta de un programa de gestión para la protección de los recursos hídricos subterráneos del sector hidrogeológico CA-I-5.

Para determinar las actividades contaminantes que requieren medidas de control según la vulnerabilidad del acuífero (alta, media y baja), se utilizó la matriz de aceptabilidad de las actividades e instalaciones comunes potencialmente contaminantes, propuesta por Foster *et. al.*, 1993; Hirata, 1993. (Anexo 6) Además basados en la vulnerabilidad del acuífero (Anexo 1), área de protección de las fuentes (Anexo 7) y carga potencialmente contaminante, se definen los

niveles de acción prioritarios para el control de la contaminación del agua subterránea (Anexo 8)

Programa de gestión: (Actividad, problemática, acciones, indicador de verificación)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.1 Determinación del peligro a la contaminación y vulnerabilidades en las fuentes de abasto.

III.1.1 Determinación de las zonas de protección sanitarias (ZPS) de las fuentes de abasto humano en el sector hidrogeológico CA-I-5 cuenca Morón.

Como resultado del programa PROTZON se obtuvieron los límites de la zonas I y II de protección sanitaria, sus dimensiones (Tabla III.1.1.1), las coordenadas de los puntos notables de la parábola y los gráficos correspondientes a cada fuente de abasto (Figura III.1.1.1, III.1.1.2 y III.1.1.3), como archivos de salida exportable a un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permitió con facilidad sobre una base cartográfica y otras capas de informaciones, identificar los elementos dañinos o no admisibles en cada ZPS, según establece la NC antes mencionada.

Tabla III.1.1.1 Dimensiones de la ZPS I y II

| Fuente de abasto | ZPS I Área, m ² | Ro, m | Dps, m | Xo, m | Yo, m |
|------------------|----------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Ruspoli | 225 | 677.77 | 1899.07 | -208.47 | 654.93 |
| Ceballos | 225 | 343.69 | 1111.51 | -218.27 | 685.71 |
| La Pedrera | 225 | 489.6 | 1596.1 | -55.90 | 175.7 |
| Barrio Nuevo | 225 | 473.65 | 721.38 | -166.96 | 524.53 |
| Biplanta | 225 | 483.4 | 696.67 | -64.10 | 201.5 |
| El Micro | 225 | 297.3 | 527.16 | -46.70 | 146.6 |
| Fondo PCC | 225 | 222.8 | 885.36 | -41.60 | 130.6 |
| Eucaliptos | 225 | 307.89 | 916.90 | -54.40 | 170.90 |
| Manguito | 225 | 244.95 | 434.00 | -155.00 | 477.5 |
| Km 35 | 225 | 645.11 | 2797.86 | -326.12 | 102453 |
| Patria Alevinaje | 225 | 243.45 | 299.75 | -90.55 | 257.25 |
| Patria III | 225 | 426.91 | 849.10 | -339.53 | 1066.67 |

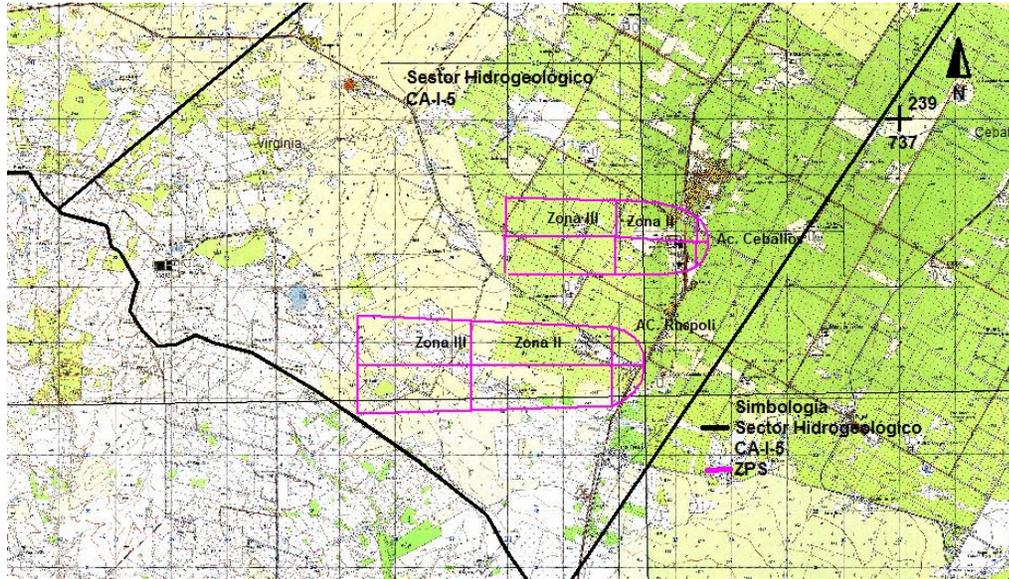


Figura III.1.1.1 ZPS de los acueductos Ruspoli y Ceballos en el municipio Ciego de Ávila en el sector hidrogeológico CA-I-5.

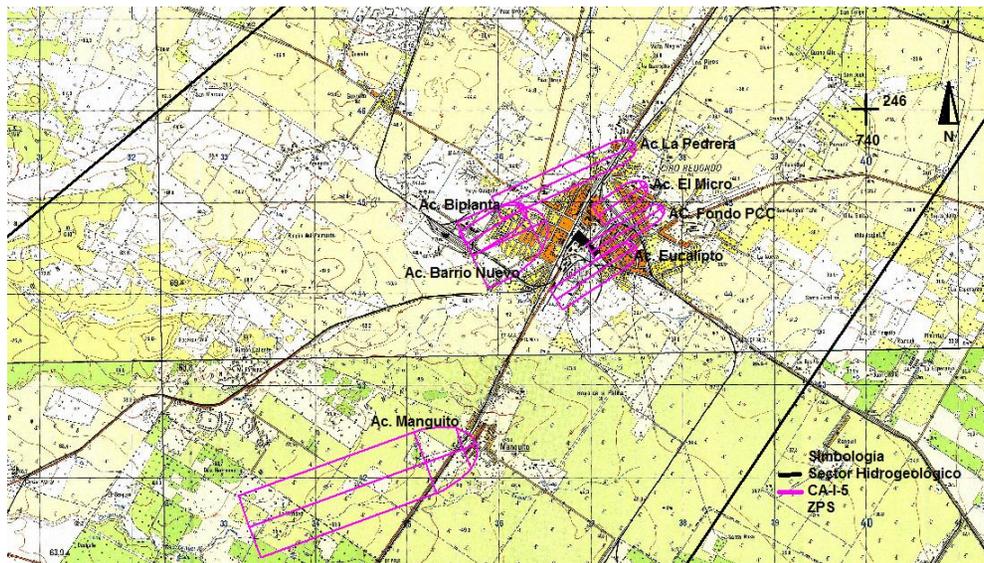


Figura III.1.1.2. ZPS de los acueductos en el municipio Ciro Redondo en el sector hidrogeológico CA-I-5

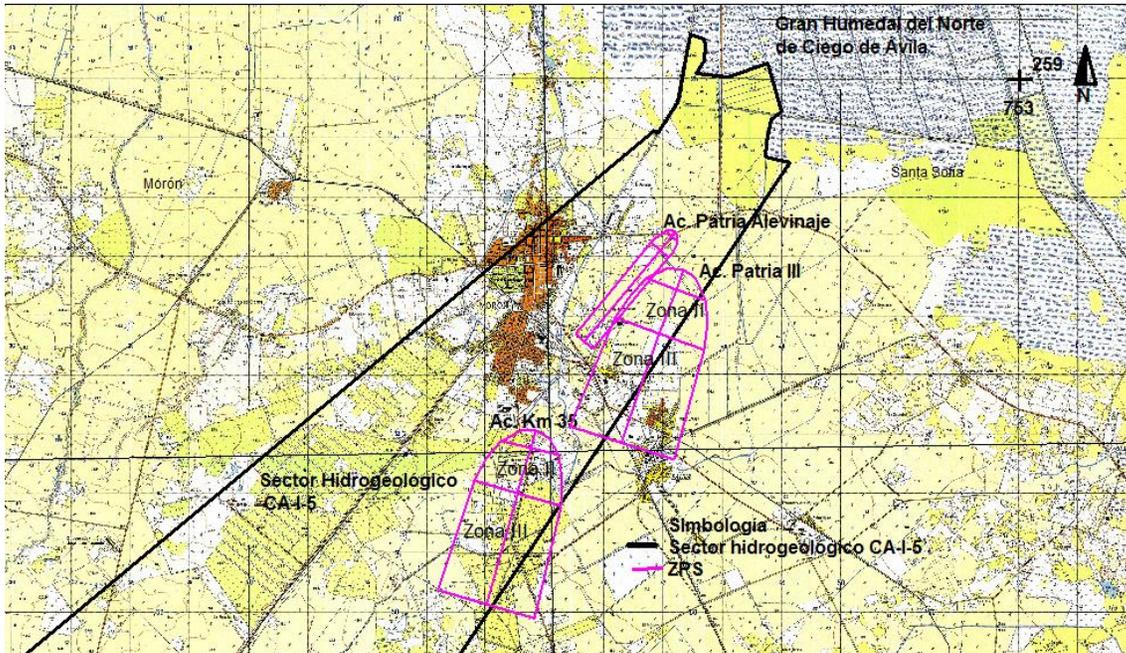


Figura III.1.1.3. ZPS de los acueductos en el municipio Morón en el sector hidrogeológico CA-I-5

El método analítico utilizado proporciona inexactitudes con relación a métodos numéricos, según Expósito et al, 2007, fundamentalmente a causa de que los analíticos consideran el acuífero homogéneo e isotrópico, no considera la recarga en la zona de captura y no toma en cuenta todos los parámetros que pudieran influir en las variaciones del campo de flujo en el área próxima a la captación. Además, este mismo autor propone la utilización de la conductividad hidráulica del estrato más permeable ya que obtuvo resultados más próximos a los realizados por métodos numéricos, siendo estos considerados con más exactitud por tomar en cuenta mayor cantidad de datos, según las investigaciones de Hirata y Reboucas, (1999); Foster et al, (2003) y en este trabajo se toma la conductividad hidráulica ponderada por falta de datos en los diferentes cortes hidrogeológicos. No obstante, esta variante de la NC utiliza un factor de seguridad de 1.3 tanto en las distancias aguas arriba y abajo de la fuente, como para las coordenadas X (punto de estanco) y Y (asíntotas o bordes de la región productiva en sentido perpendicular del flujo de la línea neutra con relación al flujo de las aguas subterráneas).

En cada ZPS por fuente de abasto, se tuvo en cuenta las consideraciones específicas de los elementos que resultan dañinos o no admisibles, relacionados en la NC 1192/2017 y se resumieron en la tabla III.1.1.2.

Tabla III.1.1.2. Resumen de las actividades que resultan dañinas en las ZPS de las fuentes de abasto.

| ZPS | Actividad dañinas o no admisibles (Anexo 7) | Fuentes de abasto | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------------------|----------|------------|--------------|----------|----------|-----------|------------|----------|----------------|--------|------------|
| | | Ruspoli | Ceballos | La Pedrera | Barrio Nuevo | Biplanta | El Micro | Fondo PCC | Eucaliptos | Manguito | Morón km 35 | Patria | Patria III |
| III | 1 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | 2 | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | |
| II | 1 | x | x | | | | | | | | x | | |
| | 2 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| | 3 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | 4 | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | x | x | | x | | | | x | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 y 2 | | 1 |
| I | 1 | | | 1 | | | | | | | | | |
| | 2 | | | x | | | | x | | x | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | x | | | | x | | x | | | |
| | 6 | x | x | x | x | x | x | | x | x | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | x | | | | x | | | | | |
| | 9 | x | | x | | | | x | | x | x | | x |
| | 10 | | | | | | | | | | | | |

De forma general en las ZPS I, el problema más generalizado es la falta de césped fino, bajo y parejo. El incorrecto confinamiento trae como consecuencia el tránsito de peatones y la abertura de caminos. La mayoría de las fuentes están confinadas pero las cercas no tienen las dimensiones necesarias que establece la NC antes mencionada.

En la ZPS II de forma general se observa la presencia de viviendas rurales con tratamiento de residuales a partir de letrinas y fosas rudimentarias para el

tratamiento de los residuales domésticos, desarrollo de la actividad porcina. Además, existe gran cantidad de pozos de riego y abastos menores, lo que aumenta la conectividad entre los acuíferos y actúan como un conducto con posibilidades para la infiltración de agua de mala calidad.

Alrededor de algunas fuentes como son: Ruspoli, Km 35 y Ceballos, se desarrolla fuertemente la actividad agrícola. En esta última, además se encuentra la presencia de un cementerio, industrias, almacenes de plaguicidas y fertilizantes.

En la ZPS III se generaliza el desarrollo de viviendas rurales con tratamiento de residuales domésticos a partir de letrinas y fosas rudimentarias y el vertimiento sin, regular o mal sistema de tratamiento de residuales, provenientes de la actividad porcina.

Conclusiones parciales

1. Indudablemente las ZPS a fuentes de abastos constituye una herramienta dentro de las estrategias para la protección de la calidad de las aguas subterráneas en el territorio sabiendo que las características geológicas e hidrogeológicas favorecen la contaminación de las aguas subterráneas.
2. La efectividad de la protección de la calidad de las aguas subterráneas a través de la determinación de ZPS se basa fundamentalmente en el cumplimiento de lo estipulado en la NC 1192/ 2017, donde se establece no solo el procedimiento de cálculo sino las actividades que se consideran dañinas o no admisibles, el alcance, las limitaciones, identificación y protección por zonas.
3. El área más afectada en las fuentes de abasto analizadas es la zona II, donde en todos los casos se realizan actividades relacionadas con el desarrollo de viviendas que no tratan sus residuales con sistemas eficientes, la aplicación de fertilizantes en la agricultura, la existencia de industrias, así como centros agrícolas y caseríos de pequeños agricultores o cooperativas, carreteras, vías férreas, calles, pistas deportivas, lugares de acampamiento, cementerios y el almacenamiento de productos combustibles o productos tóxicos.
4. Es muy importante continuar con el monitoreo planificado de las fuentes de abasto para garantizar la calidad del agua a la población servida.

III.1.2 Inventario de las fuentes potencialmente contaminantes en el sector hidrogeológico CA I-5 cuenca Morón, provincia Ciego de Ávila.

III.1.2.1 Inventario de fuentes contaminantes.

Tabla III.1.2.1.1 Resumen de los focos contaminantes por tipo de actividad en el sector CAI-5

| Actividad | Focos contaminantes | Cantidad | Principales contaminantes |
|-------------------------|--|------------|---------------------------|
| Desarrollo Urbano | Asentamientos en zonas urbanas | 8 | n,f,o |
| | Asentamientos en zonas sub urbanas | 7 | n,f,o |
| | Asentamientos en zonas rurales | 14 | n,f,o |
| | Hospitales | 2 | n,f,o,t,h |
| | Centros educacionales | 6 | n,f,o |
| | Unidad Militar | 1 | n,f,o,t,h |
| Industrial | Fábricas de alimentos | 15 | n,o,t |
| | Fabrica de bebidas | 1 | n,o,t |
| | Talleres mecánicos | 2 | n,o,t,h |
| | Lavanderías | 2 | n,f,o,t,h,s |
| | Industria Azucarera | 1 | n,o,t,h |
| | Industria Alevinaje | 1 | n,o,t,h |
| | Grupos electrógenos | 1 | t,h |
| | Planta asfalto | 1 | t,h |
| Exploración petrolera | Operación de campus de petróleo | 1 | t,h |
| Agropecuaria | Crianza de ganado porcino(productores) | 28 | n,f,o,t,h |
| | Empresa avícola | 1 | n,f,o,t,s |
| | Practicas agrícolas | 4 | n,o,t,h,s |
| | Centro de investigación | 1 | n,f,o,t,h |
| Urbanas varias | Cementerios | 2 | f |
| | Gasolineras | 3 | t,h |
| | Nave de ómnibus | 1 | t,h |
| Disposición de residuos | Vertederos | 1 | n, o, t, h |
| Total | | 104 | |

Leyenda: n: compuestos de nutrientes; f: patógenos fecales; o: carga orgánica general; s: salinidad; h metales pesados; t: micro-organismos tóxicos; P. Puntual, D: Difusa, u: urbano; r: rural

Una vez identificadas las actividades que coexisten en el área de estudio y que, por ende, constituyen los tipos de fuentes contaminantes potenciales del sector hidrogeológico CAI-5, se procedió a recopilar información acerca de cada una de ellas (Anexo1 Excel Hoja 1). El inventario de fuentes contaminantes arrojó un total de 104 sitios distribuidos en toda el área de estudio, que inciden en tres municipios de la provincia (Ciego de Ávila, Ciro Redondo y Morón). La localización geográfica de cada una de ellas se puede observar en la Figura III.1.2.1.1, lo que evidencia que estas fuentes están muy cerca de la red hidrográfica y fuentes de abastos, la cuales se pueden ver afectada en corto y mediano periodo de tiempo, teniendo en cuenta el origen de las fuentes contaminantes y el vertimiento de las aguas residuales, en la mayoría de los casos con un inadecuado o nulo tratamiento, según se pudo apreciar en los recorridos in situ.

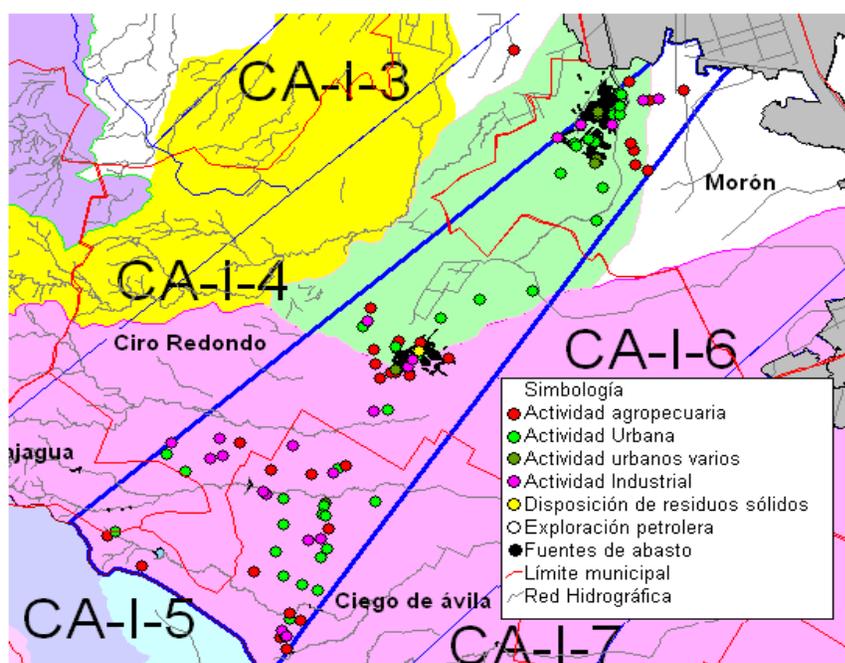


Figura III.1.2.1.1 Fuentes contaminantes por actividad en el sector hidrogeológico CA-I-5

Cada una de las fuentes identificadas se caracterizó según tipo de actividad realizada en la zona de estudio (Urbanización, Industrial, Agropecuaria, Urbanas varias, Exploración petrolera y Disposición de residuos sólidos). En la Figura III.1.2.1.2 se muestra que de estos grupos de actividades, el más representativo fue el conformado por el de urbanización con el 36 %, el cual incluye fuentes contaminantes asociados con asentamientos humanos, centros de salud, centros educacionales y otros, el 34 % corresponde a la actividad agropecuaria, destacándose las fuentes asociadas a la producción porcina a pequeña y mediana escala unida a las prácticas agrícolas en menor proporción, el 24% corresponde al desarrollo industrial, en la que se destacan las producciones de mermelada de frutas y conservas a través de las mini industrias existentes en la zona, además de otras producciones de alimentos y bebidas a escala industrial,

el 6% corresponde a la actividad de urbanas varias con la presencia de cementerios, puntos CUPET (gasolineras) y naves de ómnibus y un 1% responde a la actividad de operaciones de campus de petróleo y el otro un 1% indica la presencia de vertederos de residuos sólidos de origen residencial e industrial.

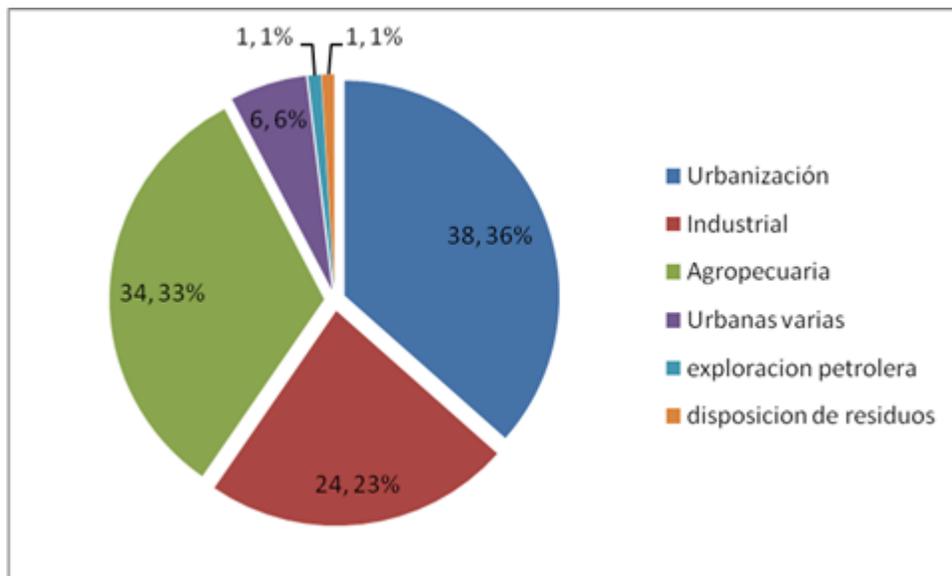


Figura III.1.2.1.2 Fuentes contaminantes por actividad

En las Figuras III.1.2.1.3, III.1.2.1.4 y III.1.2.1.5 se muestra el porcentaje de los focos contaminantes según las actividades más representativas dentro del área de estudio, las fuentes con mayor incidencia dentro del sector urbano son los asentamientos humanos en zonas rurales urbanas y suburbanas con el 37 %, 21 % y 18 % respectivamente; en el caso del sector agropecuario prevalece con un 82 % la crianza de cerdo a través de productores pertenecientes a CCSF con o sin convenio con la Empresa Porcina del territorio y en el caso del sector industrial las fuentes de mayor impacto están asociada con las fábricas de alimentos con el 63 %, clasificadas por el métodos POSH como industrias de tipo 1 destacándose entre ellas las mini industrias.

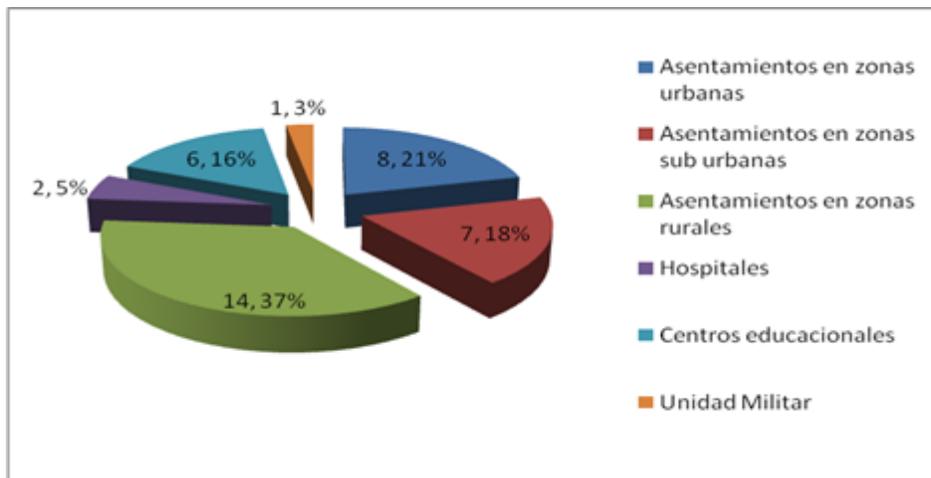


Figura III.1.2.1.3. Porcentaje de sectores urbanos en el área de estudio

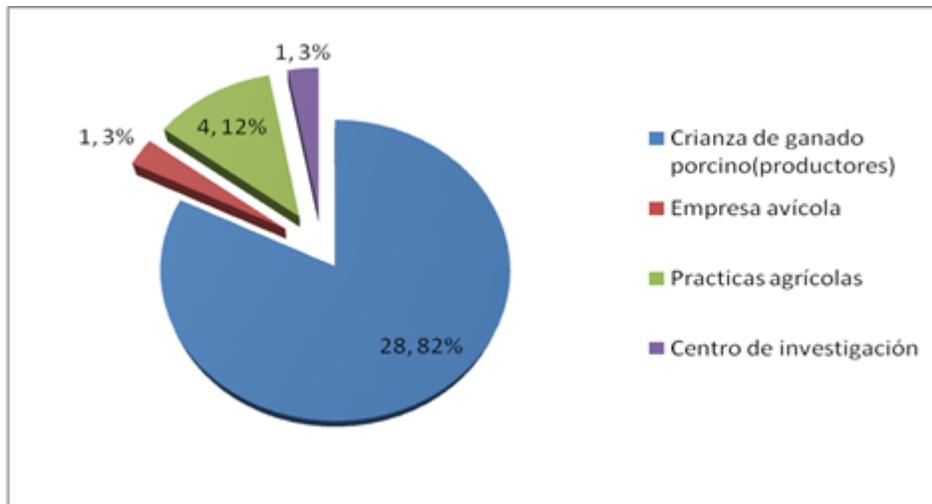


Figura III.1.2.1.4 Porcentaje de sectores agropecuarios en el area de estudio

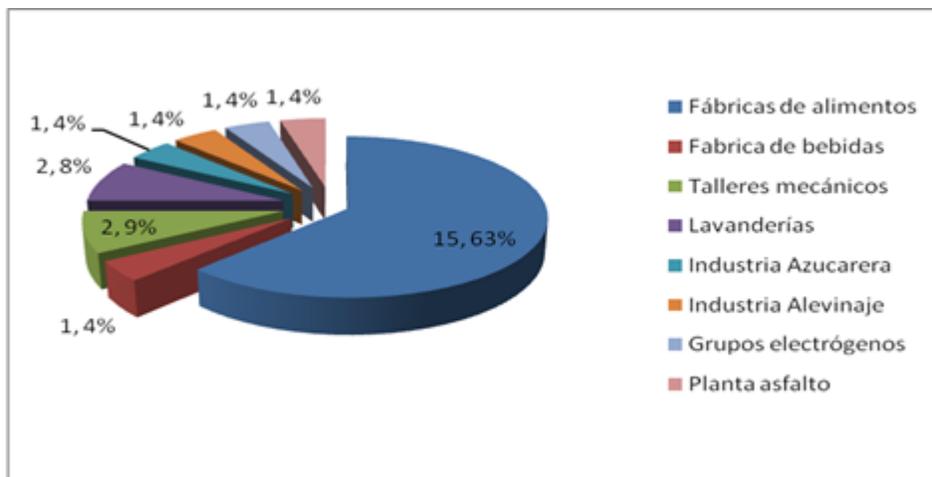


Figura III.1.2.1.5 Porcentaje de sectores industriales en el área de estudio

Según se muestra en la Figura III.1.2.1.6 el municipio Ciego de Ávila es el que más incide en el sector CAI-5 con la presencia de 43 fuentes potencialmente contaminantes, representando el 41 % del total. Esto permite ir trabajando en algunas propuestas de control y seguimiento para las fuentes inventariadas en este municipio que en su conjunto aportan un mayor grado de contaminación hacia el acuífero.

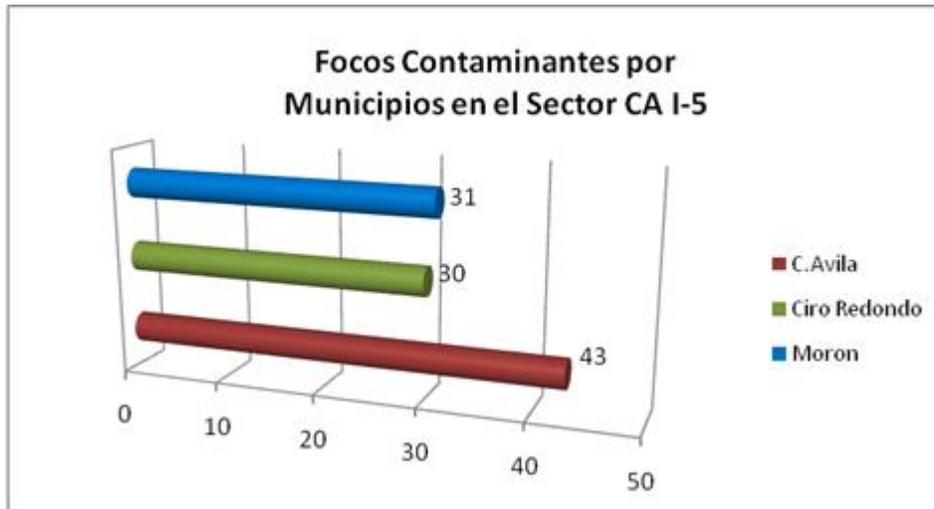


Figura III.1.2.1.6 Focos contaminantes por municipio en el sector CAI-5

En otro orden de análisis se tuvo en cuenta los sistemas de tratamiento aplicados para la depuración de las aguas residuales derivadas de cada uno de las fuentes inventariadas (Anexo 1 Excel hoja 1). En sentido general podemos comentar que el 79 % de las fuentes asociadas al sector urbano, principalmente asentamientos en zonas sub urbano y rural aplican saneamiento in situ (fosas sépticas y letrinas), el 74 % de las fuentes vinculadas a la actividad industrial implementan laguna de estabilización y 26 % no aplica ningún sistema; en el caso de la actividad agropecuaria el 81 % de sus fuentes aplican lagunas de estabilización y el 13 % tecnología de digestión anaerobia. No obstante, este es un aspecto importante a tener en cuenta en la estrategia para la protección del acuífero, pues el no control y seguimiento de estas acciones contribuirán con la generación de altas cargas contaminantes hacia los cuerpos de aguas subterráneos.

III.1.2.2 Clasificación y estimación de la carga contaminante al subsuelo

Una vez inventariadas las fuentes potencialmente contaminantes del área de estudio se procedió a la clasificación y estimación de la carga contaminante al subsuelo que se halla asociada a estas fuentes.

En el presente trabajo el criterio que se tuvo en cuenta fue de acuerdo a la distribución geométrica o espacial que estas poseen. La clasificación asumida proporciona una impresión directa y visual del tipo de peligro de contaminación del agua subterránea y de este modo facilita identificar las medidas de control que son requeridas para cada tipo de actividad. De acuerdo a este criterio las

fuentes de contaminación se clasificaron en: Fuentes Puntuales y Fuentes Difusas.

Como Fuentes de Contaminación Difusas se identificaron las provenientes de:

- Áreas Residenciales suburbanas y rurales sin servicio de alcantarillado: grandes áreas dependientes de sistemas in situ (tales como letrinas, tanques sépticos) para su saneamiento tal y como plantea Lewis et al. (1982). Tales sistemas funcionan por la percolación del efluente líquido hacia el subsuelo, y en perfiles de suelo permeables esto resulta en la recarga del acuífero. La fracción sólida, debería ser periódicamente removida y dispuesta fuera de las viviendas, pero en muchos casos permanece en el suelo y es lixiviada progresivamente por infiltración de agua de lluvia y otros fluidos. Los tipos de contaminantes comúnmente asociados con el saneamiento in situ son los componentes del nitrógeno (inicialmente en la forma amonio, pero normalmente oxidado a nitrato), contaminantes microbiológicos (bacterias patógenas, virus y protozoarios) y en algunos casos comunidades de sustancias químicas orgánicas sintéticas.
- Uso Agrícola del Suelo: ejerce una gran influencia en la calidad del agua de recarga del acuífero y también en la tasa total de recarga en áreas con riego agrícola tal y como plantean Foster y Chilton, (1998) y Foster et. al., (2001). Algunas prácticas de cultivo del suelo agrícola causan una seria contaminación difusa, sobre todo por nutrientes (principalmente nitratos) y a veces por ciertos pesticidas. Sin embargo, los otros importantes nutrientes de las plantas (potasio, fosfato) tienden a ser fuertemente retenidos en la mayoría de los suelos y no son lixiviados con facilidad al agua subterránea.
- Actividad Industrial: son capaces de generar una seria contaminación del suelo y cargas contaminantes de consideración al subsuelo como resultado del volumen, concentraciones y tipo de productos químicos y residuos que manipulan, tal y como plantea Bernardes et. al, (1991). El manejo y descarga de efluentes líquidos es un aspecto de la actividad industrial que merece atención detallada en relación con la contaminación del agua subterránea. Salvo en los casos donde la industria emprende un tratamiento de efluentes sistemático, tales prácticas presentan siempre un peligro directo o indirecto a la calidad del agua subterránea. Además, las lagunas sin revestimiento utilizadas para el almacenamiento y tratamiento de efluentes también representan un significativo peligro de contaminación del agua subterránea.
- Lagunas de Efluentes: Las lagunas de efluentes son ampliamente utilizadas para el almacenamiento, tratamiento, evaporación, sedimentación y oxidación de efluentes líquidos de origen agropecuario (producción porcina) y de aguas residuales urbanas. Estas lagunas son generalmente poco profundas (menos de 5 m de profundidad), pero su tiempo de retención puede variar ampliamente entre 1–100 días.
De acuerdo a la clasificación POSH, el potencial de contaminación al subsuelo de estas instalaciones depende de dos factores:

- ✓ la probabilidad de que contaminantes peligrosos del agua subterránea estén presentes en el efluente, lo que es fundamentalmente función de su origen
 - ✓ la tasa de percolación de la laguna en el subsuelo, que es principalmente función de la construcción y mantenimiento de la laguna (dependiendo de que su fondo y paredes estén o no totalmente impermeabilizadas).
- Disposición de Residuos Sólidos: La disposición inadecuada de residuos sólidos es responsable de un gran número de casos de contaminación del agua subterránea Tal y como plantean Gillham y Cherry, (1989), pues se generan volúmenes importantes de lixiviados a partir de la existencia de rellenos sanitarios y volcaderos de residuos.
 - Gasolineras: Las gasolineras son responsables de un gran número de casos de contaminación del agua subterránea tal y como refiere Fetter, (1988), aunque los incidentes individuales no son de una gran dimensión. Tales instalaciones manipulan grandes volúmenes de hidrocarburos potencialmente contaminantes almacenados en tanques enterrados que no permiten una inspección visual de fugas. La principal fuente de contaminación de suelos y aguas subterráneas se debe a la corrosión de los tanques y existe una fuerte correlación entre la incidencia y tamaño de las fugas y la edad de los tanques instalados como refiere KostECKI y Calabrese, (1989) y Cheremisinoff, (1992). Existe una alta probabilidad de que los tanques de más de 20 años de antigüedad estén seriamente corroídos y sujetos a fugas sustanciales a menos que reciban un mantenimiento periódico. Además, las tuberías entre los tanques y los sistemas de distribución se pueden romper debido al tráfico de vehículos pesados o a una pobre calidad de la instalación inicial.

De las 104 fuentes contaminantes inventariadas en el sector CAI-5, 69 fuentes representando el 66 % del total se clasifican como fuentes contaminantes Puntuales, pues producen plumas claramente definidas y más concentradas, las cuales facilitan su identificación y en algunos casos el control (Anexo 1 Excel Hoja 1) y el 34 % corresponde a fuentes de contaminación difusa, pues no generan plumas de contaminación del agua subterránea claramente definidas, sino que normalmente impactan en un área.

III.1.2.3 Clasificación y categorización de las fuentes contaminantes de acuerdo al método POSH (Anexo 1 Excel Hoja 2). Potencial de carga contaminante (Anexo 1 Excel Hoja 3 y 4)

Desarrollo Urbano:

- Asentamientos humanos en zonas urbanas, sub urbanas, rurales: De los 29 asentamientos localizados en la zona de estudio, el 97% aporta al acuífero un potencial de carga contaminante elevado. Esto se debe a la alta densidad poblacional (mayor a 100 hab/ha) y a la presencia de fosas sépticas, deterioros en el sistema de drenaje, carencia y/o inadecuados sistemas de tratamiento. Los datos correspondientes

- Hospitales y policlínicas: Estas fuentes aportan al acuífero un potencial de carga contaminante elevado. Esto se debe a la presencia de contaminantes químicos peligrosos y tóxicos, unido a la inadecuada cobertura de drenaje y la inexistencia de sistemas de tratamiento.
- Centros educacionales: Estas fuentes aportan al acuífero un potencial de carga contaminante moderado. Esto se debe a deterioros en los sistemas de drenaje y/o presencia de fosas sépticas, unido a la falta de mantenimiento de los sistemas de tratamiento por laguna de estabilización.

Disposición de residuos sólidos:

Estas fuentes aportan al acuífero un potencial de carga contaminante moderado. Esto se debe a que la precipitación en la provincia de Ciego estuvo > 500 mm/a y que los residuos sólidos provienen de zonas residenciales, industrias de tipo 1 unido a la presencia de un relleno sanitario

Explotación de Hidrocarburos:

Las actividades de explotación de hidrocarburos pueden causar importantes impactos en la calidad del agua subterránea como resultado de:

- Modificaciones hidráulicas de los sistemas de flujo del agua subterránea, directa o indirectamente, como resultado de la construcción y operación de excavaciones Subsuperficiales.
- Aumento de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos como resultado de la remoción física de partes de la zona no saturada o de las capas confinantes que proveían protección natural.
- Disposición de aguas de drenaje de fluidos salinos de los reservorios de hidrocarburos, por el esparcimiento en el terreno, descarga a cursos de agua superficiales o en lagunas de evaporación sujetas a percolación.

Urbanas varias:

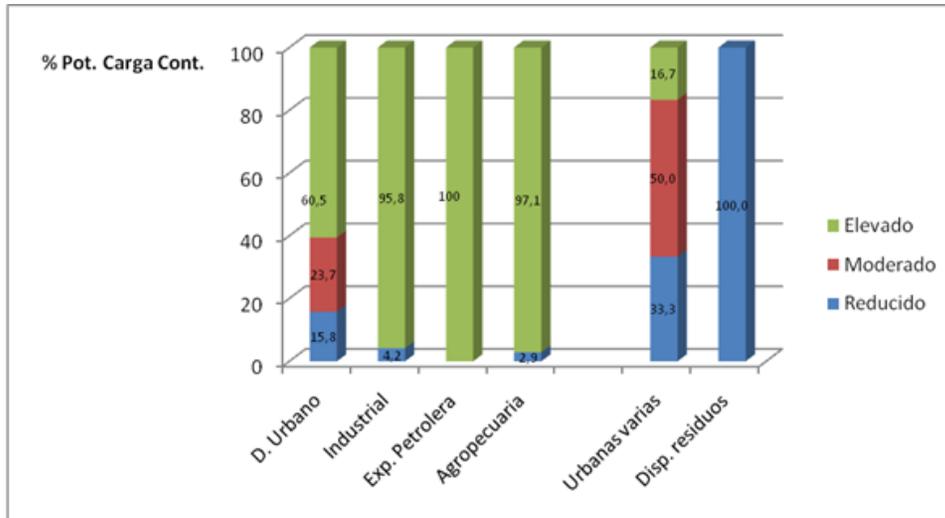
- Cementerios: Este tipo de actividad genera sólo cargas contaminantes microbiológicas en un área restringida, y ésta será más reducida si se usan impermeabilizantes especiales en las tumbas y/o cofres resistentes a la corrosión. Por tanto, esta fuente aporta al acuífero un potencial de carga contaminante reducido.
- Gasolineras: Esta fuente aporta al acuífero un potencial de carga contaminante moderado.
- Nave de ómnibus: Esta fuente aporta al acuífero un potencial de carga contaminante Elevado.

Industrial: El 95% de estas fuentes aportan al acuífero un potencial de carga contaminante Elevado.

Agropecuarias: La mayoría de estas fuentes aportan al acuífero un potencial de carga contaminante Elevado

En la Figura III.1.2.3.1 se resume el porcentaje del potencial de carga contaminante asignado según Foster et al, (2002), de acuerdo al tipo de

actividad desarrollada en el sector CAI-5, lo cual demuestra de manera cualitativa que a la actividad agropecuaria corresponde el 97.1%, la industrial 95.8% y a la exploración petrolera 100% y el 60.5% de la actividad de desarrollo urbano pueden generar una elevada carga contaminante hacia el acuífero, lo cual pudiera contribuir con la afectación de la calidad de las aguas subterráneas y con ello la calidad de vida de la población avileña quien se beneficia de este recurso para el desarrollo de sus actividades cotidianas.



Figura

III.1.2.3.1 Porcentaje de potencial de carga contaminante de acuerdo al tipo de actividad contaminante.

Conclusiones parciales

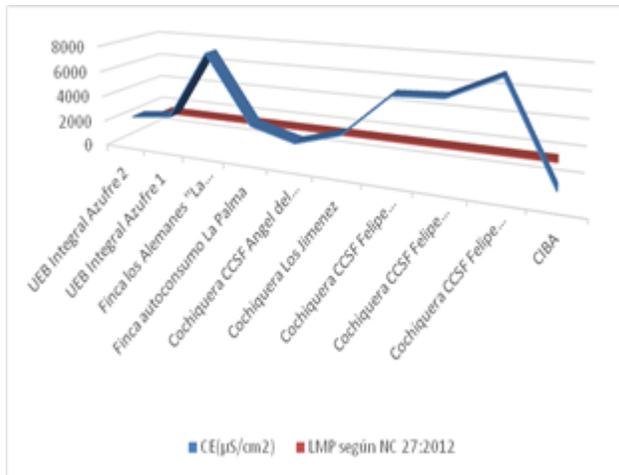
El inventario de fuentes potencialmente contaminante según el método POSH permitió:

- Identificar 104 fuentes contaminantes en el sector CAI-5 que responden a seis actividades desarrolladas dentro del área de estudio (urbanización, Industrial, Agropecuaria, Urbanas varias, Exploración petrolera y Disposición de residuos).
- Las actividades que más inciden con fuentes contaminantes de interés para la protección del acuífero son el de urbanización con el 36%, la agropecuaria con el 34% y la industrial con el 24%.
- De los 104 focos inventariados, el 67% fue clasificado como fuentes de contaminación Puntual y el 33 % como fuentes Difusas
- La clasificación de manera cualitativa del potencial de carga contaminantes al subsuelo en tres niveles: reducido, moderado y elevado, permitió demostrar que la actividades de agropecuaria (97.1%), industrial (95.8%), exploración petrolera (100%) y el 60.5% de la actividad de desarrollo urbano pueden generar una elevada carga contaminante hacia el acuífero, lo cual pudiera contribuir con la afectación de la calidad de las aguas subterráneas.

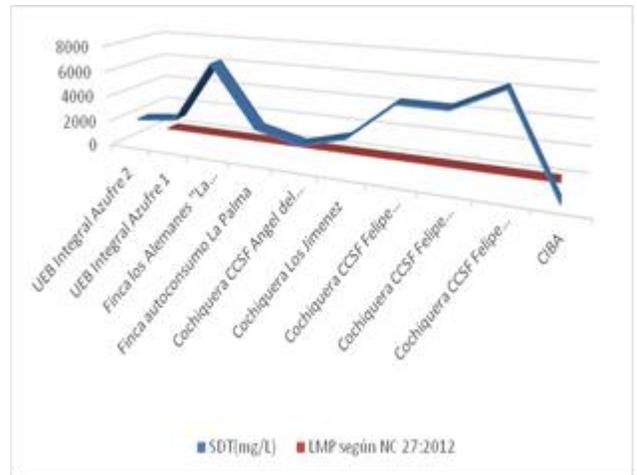
III.1.2.4 Caracterización de la carga contaminante asociada a las fuentes inventariadas en el sector CA-I-5

Del total de fuentes contaminantes puntuales inventariadas (Anexo 1 Excel Hoja 1), solo se evaluó el 36.7 %, que representan 25 fuentes contaminantes. Esta situación estuvo condicionada por diversas causas entre las que se destacan: procesos industriales paralizados, cochiqueras desactivadas, sistemas de tratamientos por lagunas de estabilización secas, no visualización de puntos de vertimientos de residuales en instalaciones de servicio público (hospitales), entre otras.

III.1.2.4.1 Calidad físico- química de Fuentes de contaminación Puntuales. Actividad agropecuaria



A)



B)

Figura III.1.2.4.1 A) Comportamiento de la Conductividad Eléctrica. B) Comportamiento de la Sólidos Disueltos Totales

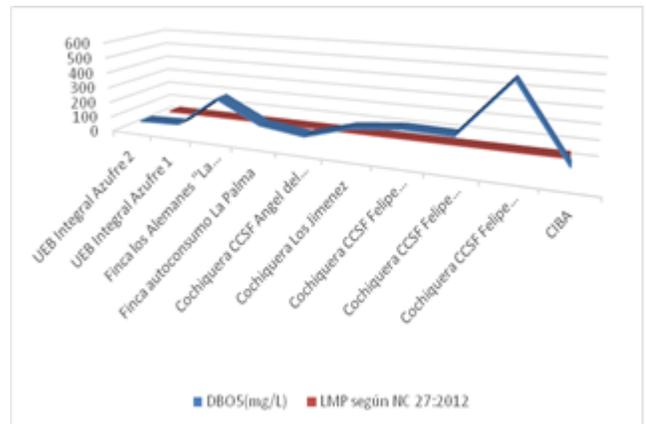
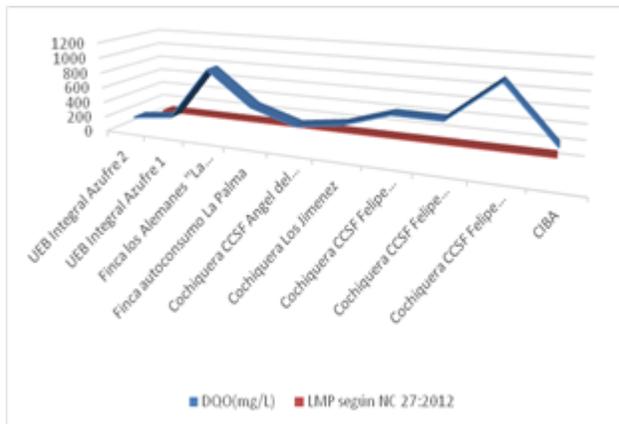


Figura III.1.2.4.2 C) Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno. D) Comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno

En las figuras anteriores aparecen reflejados el comportamiento de los principales resultados alcanzados para las fuentes puntuales asociada a la actividad agropecuaria principalmente a la producción porcina, en el contexto de los indicadores químicos que con más frecuencia se analizan para los residuales líquidos vertidos a cuerpos de agua de Clase A, que corresponde a zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos según NC 27/2012 y que a juicio de la autora son de suma importancia por la incidencia ambiental que trae aparejado sobre el recurso suelo y agua.

Las 10 fuentes puntuales evaluadas en la actividad agropecuaria que representan el 35.7 % del total inventariada, tiene implementado lagunas de estabilización como sistemas de depuración de sus residuales, sin embargo se evidencia en la figura III.1.2.4.1 A, que la Conductividad Eléctrica en el 70 % de las fuentes están por encima de lo estipulado en la NC 27/2012, lo que denota que estos efluentes tienen altas concentraciones de sales, lo cual puede estar en relación directa con la base alimentaria que es consumida por estas especies (concentrados convencionales y no convencionales), pues contienen una serie de nutrientes importantes para el crecimiento y desarrollo del animal, entre las que se pueden mencionar las proteínas que son vitales para el mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción láctea del animal, y minerales que son esenciales ya que intervienen en la formación de tejidos, procesos bioquímicos y producción láctea entre otros, el Calcio, fósforo provienen de los suplementos frecuentemente utilizados en las dietas, y que pueden estar presentes en los residuales de este proceso productivo tal y como plantea Rodríguez et al, (1999).

La carga orgánica expresada en términos de DQO (Figura III.1.2.4 .2 A), en el 100% de las fuentes analizados incumplen con los límites establecidos en la NC 27/2012, que se traduce en una disminución del oxígeno disuelto por consumo de éste en los procesos de degradación, reduciendo la capacidad de autodepuración, por lo que cuando se consume todo el oxígeno disuelto, la degradación se torna anaeróbica, desapareciendo la vida animal y apareciendo compuestos típicos de la putrefacción, generalmente mal olor, como el sulfhídrico. Es por ello que se hace imprescindible y necesario el mantenimiento sistemático de las lagunas de estabilización implementadas para el tratamiento de estos efluentes, con vistas a remover los tenores de materia orgánica necesarios para el vertimiento de estos a cuerpos de agua subterráneos, con el menor riesgo de contaminación, tal y como refiere Metcalf and Eddy, (1995) . En el caso de la carga orgánica expresadas en términos de DBO₅ (Figura III.1.2.4.2 B), el 50 % de las fuentes incumplen con los parámetros establecidos en la NC 27/2012, lo que indica que existe aún en las aguas residuales, materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos en forma disuelta o en suspensión.

Los resultados alcanzados en el pH no se graficaron pues en todos los casos las características ácido - base de los efluentes evaluados tienden a ser francamente

básicas cumpliéndose así con lo establecido por la NC- 27/2012 (6-9), por lo que no tiene una repercusión negativa sobre el recurso suelo y agua.

La concentración de sólidos sedimentables alcanzada en cada uno de los efluentes evaluados osciló entre 1616-7164 ml/L, por lo que el 100 % incumple con los límites permisibles en la NC-27/2012 (1 ml/L), esto está asociado a la ausencia y/o falta de mantenimientos de tratamientos primarios (registros, sedimentadores, etc) que permitan la separación eficiente de los sólidos contenidos en las aguas residuales.

III.1.2.4.2 Calidad físico química de Fuentes de contaminación Puntuales. Actividad industrial

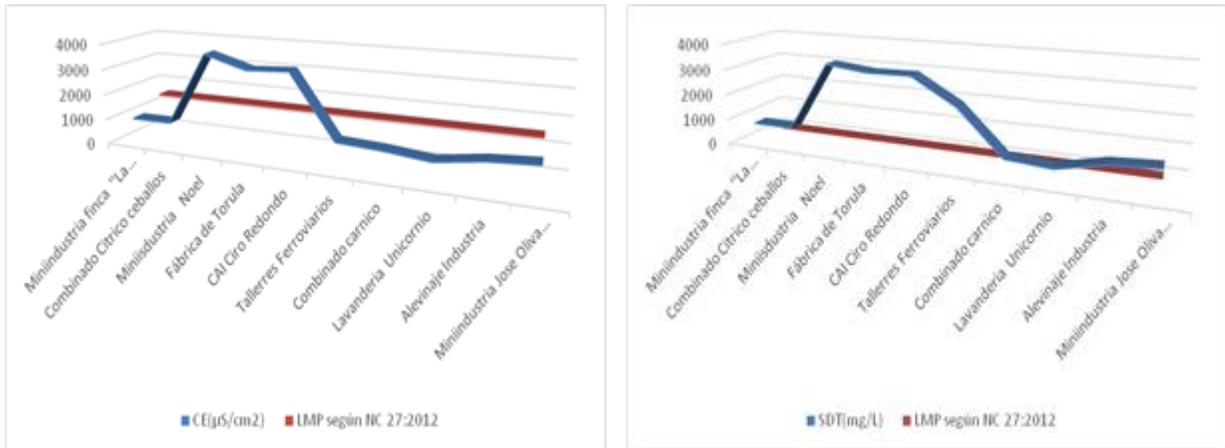


Figura III.1.2.4.2.1 A) Comportamiento de la Conductividad Eléctrica. B) Comportamiento de la Sólidos Disueltos Totales

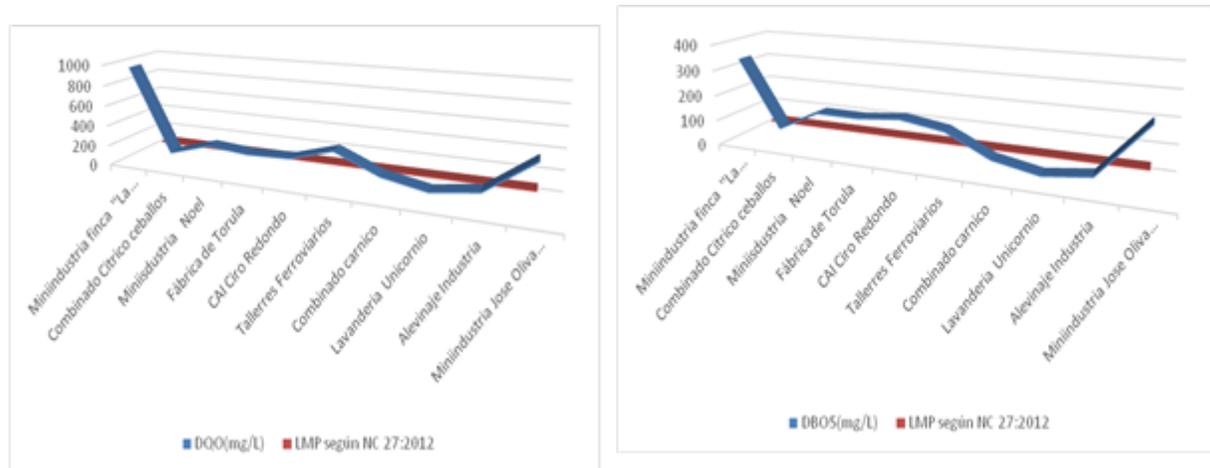


Figura III.1.2.4.2.2 A)

Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno. B) Comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno

En las figuras anteriores se refleja el comportamiento de los principales resultados alcanzados para las fuentes puntuales asociada a la actividad industrial dirigidas principalmente a la producción de alimentos, en el contexto de

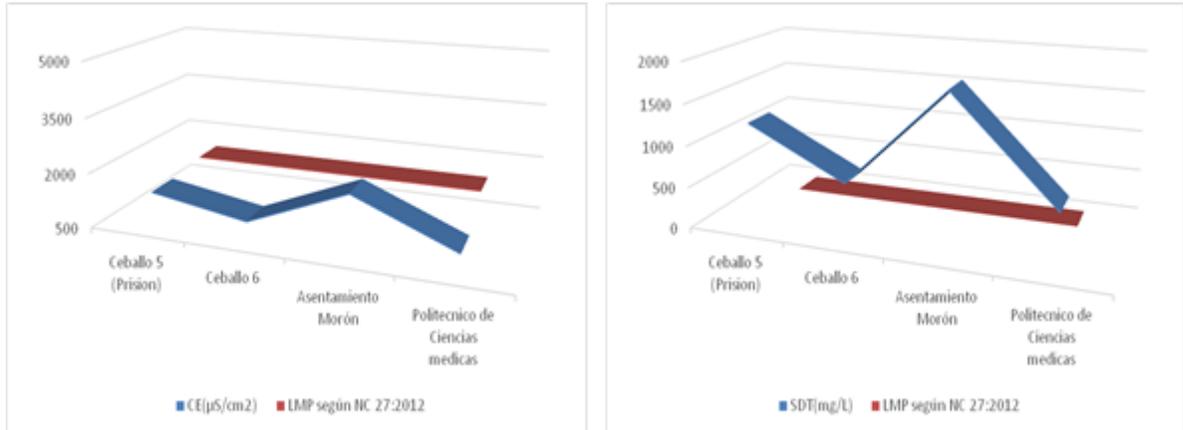
los indicadores químicos que con más frecuencia se analiza para los residuales líquidos vertidos a cuerpos de agua de Clase A, que corresponde a zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos según NC 27/2012 y que a juicio de la autora son de suma importancia por la incidencia ambiental que trae aparejado sobre el recurso suelo, agua.

Las 10 fuentes puntuales evaluadas en la actividad industrial que representan el 45.4 % del total inventariada, tiene implementado lagunas de estabilización como sistemas de depuración de sus residuales, sin embargo se evidencia en la Figura III.1.2.4.2.1 A, que la conductividad eléctrica en el 30 % de las fuentes están por encima de lo estipulado en la NC 27/2012, lo que denota que estos efluentes tienen altas concentraciones de sales, lo cual puede estar en relación directa con los productos químicos en forma de sales solubles utilizados para la producción de alimentos en conservas.

La carga orgánica expresada en términos de DQO (Figura III.1.2.4.2.2 A), en el 50% de las fuentes analizadas, incumplen con los límites establecidos en la NC 27/2012, es por ello que se hace imprescindible y necesario el mantenimiento sistemático de las lagunas de estabilización implementadas para el tratamiento de estos efluentes, con vistas a remover los tenores de materia orgánica necesarios para el vertimiento de estos, a cuerpos de agua subterráneos con el menor riesgo de contaminación, según refiere Metcalf and Eddy, (1995) . En el caso de la carga orgánica expresadas en términos de DBO₅ (Figura III.1.2.4.2 B), el 50 % también incumple con los LMP establecidos en la NC 27/2012

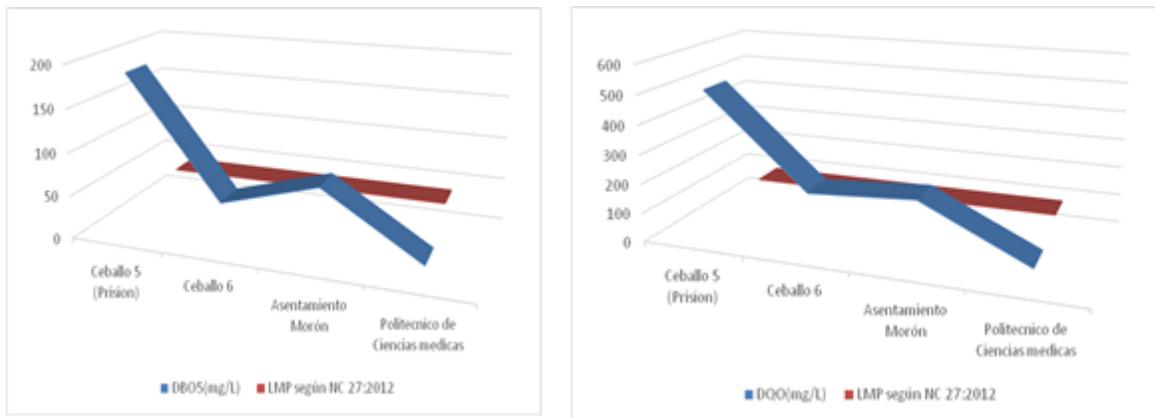
En el caso del pH el 50% de las fuentes puntuales analizadas sus residuales tiende a tener características acidas por debajo de 6 por lo que incumplen con lo establecido por la NC- 27/2012 (6-9).

III.1.2.4.3 Calidad físico química de Fuentes de contaminación Puntuales.



Actividad Desarrollo urbano

Figuras III.1.2.4.3.1 A) Comportamiento de la conductividad eléctrica. B)



Comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales

Figuras III.1.2.4.3.2 A) Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno, DQO. B) Comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno, DBO.

Las 4 fuentes puntuales evaluadas en la actividad de desarrollo urbano que representan el 40 % del total inventariada, tienen implementado para el saneamiento de las aguas residuales provenientes de los núcleos urbanos y de los centros educacionales evaluados, lagunas de estabilización para el tratamiento de sus residuales, las que contienen sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, deyecciones, basuras, productos de limpieza, jabones, etc.). Sin embargo, se evidencia en la Figura III.1.2.4.3.1 A, que dichos residuos presentan bajas concentraciones de sales y por ende incide en la baja Conductividad Eléctrica, contenidas en las fuentes evaluadas, por lo que se cumple con lo estipulado en la NC 27/2012. Sin embargo, las concentraciones de sólidos disueltos totales (Figura III.1.2.4.3.1 B) exceden los LMP establecidos en la Norma Cubana.

La carga orgánica expresada en términos de DQO (Figura III.1.2.4.3.2 A), en el 50% de las fuentes analizadas incumplen con los límites establecidos en la NC 27/2012, es por ello que se hace imprescindible y necesario el mantenimiento sistemático de las lagunas de estabilización implementadas para el tratamiento de estos efluentes, con vistas a remover los tenores de materia orgánica necesarios para el vertimiento de estos a cuerpos de agua subterráneos con el menor riesgo de contaminación, Metcalf and Eddy, (1995) . En el caso de la carga orgánica expresadas en términos de DBO₅ (Figura III.1.2.4.3.2 B), el 50 % también incumple con los LMP establecidos en la NC 27/2012.

III.1.2.4.4 Calidad sanitaria de las fuentes de contaminación puntuales en el sector CA-I-5.

El vertimiento de aguas residuales sin un adecuado tratamiento sobre cuerpo de agua subterráneos que son explotados principalmente para abasto humano, representa un riesgo para la salud por la posible transmisión de patógenos entéricos presentes en las mismas. En este sentido, los factores microbiológicos también juegan un notable papel en el proceso de adquisición de la composición química de las aguas. Las bacterias catalizan las reacciones químicas que ocurren en el medio, que de otro modo requerirían elevadas temperaturas y presiones. El control de estos organismos en los residuales líquidos derivados de las acciones antropogénicas, es de gran importancia para determinar el estado de los cuerpos de agua con fines de abasto humano para su explotación en el termalismo de salud.

Tabla III.1.2.4.3.1 Calidad sanitaria de los residuales derivados de las fuentes puntuales evaluadas del sector hidrogeológico CA-I-5

| Municipio | Fuente contaminante | CT(NMP/100ml) | CTT(NMP/100ml) | <i>E. Coli</i> (NMP/100ml) |
|----------------|--|------------------------|---------------------|----------------------------|
| Ciego de Ávila | UEB Integral Azufre 2 | 1,6x10 ⁸ | 9x10 ⁷ | 8,1x10 ⁷ |
| | UEB Integral Azufre 1 | ≥1,6x10 ⁸ | 1,6x10 ⁸ | 1,6x10 ⁸ |
| | Finca los Alemanes "La cCaridad" | 5x10 ⁷ | 3x10 ⁷ | 1.5x10 ⁷ |
| | Finca autoconsumo La Palma | ≥1,6x10 ⁹ | 9x10 ⁸ | 6x10 ⁸ |
| | Miniindustria finca "La Julia" Miguel Alarcón Alayón | 1,4x10 ⁵ | 1,1x10 ⁵ | 8x10 ⁴ |
| | Cochiguera CCSF Ángel del Castillo | 1,6x10 ⁸ | 9x10 ⁷ | 9x10 ⁷ |
| | Ceballo 5 (Prisión) | 3x10 ³ | 2,3x10 ³ | 1,1x10 ⁵ |
| | Ceballo 6 | 9,0x10 ⁴ | 3,5x10 ⁴ | 2,2x10 ⁴ |
| | Combinado Cítrico Ceballos | 1,4x10 ² | 1,1x10 ² | 1,1x10 ² |
| | Ciro | Cochiguera Los Jiménez | 2,8x10 ⁴ | 1,7x10 ⁴ |

| | | | | |
|---------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Redondo | Miniindustria Noel | $1,6 \times 10^6$ | $2,8 \times 10^5$ | $1,3 \times 10^5$ |
| | Fábrica de Torula | $1,6 \times 10^6$ | $5,0 \times 10^4$ | $2,4 \times 10^5$ |
| | CAI Ciro Redondo | 2×10^6 | $1,8 \times 10^4$ | $1,8 \times 10^4$ |
| | Cochiguera CCSF Felipe Navarro (Julio) | $9,4 \times 10^3$ | $7,0 \times 10^3$ | $7,0 \times 10^3$ |
| | Cochiguera CCSF Felipe Navarro (Reinel) | $1,1 \times 10^4$ | $4,9 \times 10^3$ | $4,9 \times 10^3$ |
| | Cochiguera CCSF Felipe Navarro (Héctor) | $1,4 \times 10^4$ | $7,9 \times 10^3$ | $7,9 \times 10^3$ |
| Morón | Asentamiento Morón | $1,7 \times 10^4$ | $1,4 \times 10^4$ | $1,1 \times 10^4$ |
| | Talleres Ferroviarios | $1,7 \times 10^4$ | $1,4 \times 10^4$ | $1,1 \times 10^4$ |
| | Combinado Cárnico | $2,8 \times 10^4$ | $1,7 \times 10^4$ | $1,3 \times 10^4$ |
| | Lavandería Unicornio | $8,0 \times 10^4$ | $5,0 \times 10^4$ | $3,0 \times 10^4$ |
| | Politécnico de Ciencias medicas | $9,0 \times 10^4$ | $5,0 \times 10^4$ | $3,0 \times 10^4$ |
| | CIBA | $9,0 \times 10^7$ | $5,0 \times 10^7$ | $3,0 \times 10^7$ |
| | Alevinaje Industria | $1,6 \times 10^5$ | $5,0 \times 10^4$ | $3,0 \times 10^4$ |
| | FORMATUR | $1,6 \times 10^5$ | $5,0 \times 10^4$ | $3,0 \times 10^4$ |
| | Miniindustria José Oliva Puerto | $5,0 \times 10^4$ | $3,0 \times 10^4$ | $3,0 \times 10^4$ |
| LMP según NC27/2012 | | 100 | 20 | |

Como se evidencia en la Tabla III.1.2.4.3.1, el 100% de las fuentes puntuales analizadas asociadas tanto en la actividad industrial, agropecuaria, como de desarrollo urbano incumplen con los límites máximos permisibles en el contexto de indicadores de coliformes totales y termo tolerantes, estipulado por la NC 27/2012 para cuerpos receptores de Clase A, que corresponde a zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación principalmente de aguas destinadas al abasto público. En este sentido es importante denotar la presencia de gérmenes como la *Escherichia Coli* en las aguas residuales analizadas y que son vertidas a cuerpos de agua subterráneos, provocando con ello el posible deterioro de la calidad de este recurso. Es importante comentar además que un agua contaminada bacteriológicamente y usada para el consumo humano ejerce un peligro potencial sobre la salud del hombre por los efectos que los diferentes tipos de organismos pueden producir, entre los que se destaca las infecciones víricas, inflamaciones cutáneas y oculares, infecciones gastrointestinales, endémicas o epidémicas, como el cólera, fiebre tifoidea, salmonelosis. Es por todo lo antes expuesto que se deben tomar acciones para la protección de las fuentes de abasto.

Una vez evaluado la calidad físico química y sanitaria de las fuentes puntuales enmarcadas en el sector hidrogeológico CA-I-5 se mapeó el potencial de carga contaminante que en estudios anteriores realizados por Jiménez et al. (2014) se

definieron de forma cualitativa según tipo de actividad en ELEVADO, MODERADO y BAJO

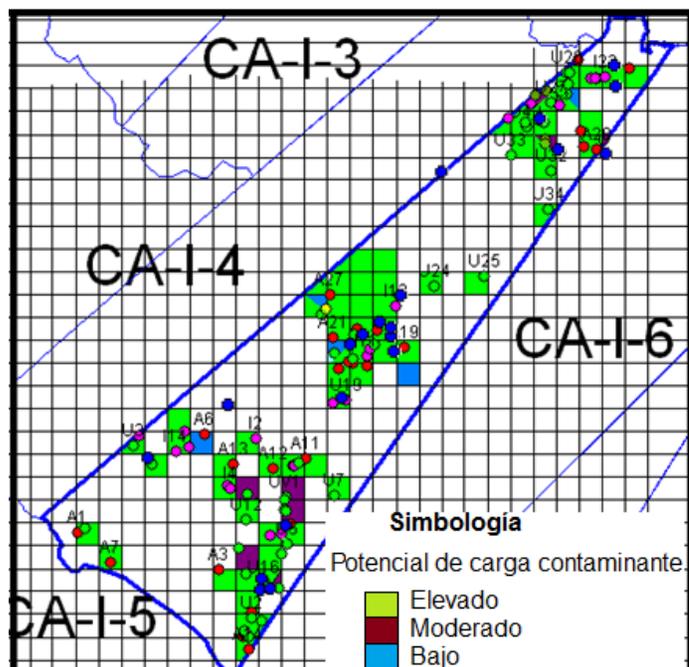


Figura III.1.2.4.3.1 Mapa de potencial de carga contaminante al subsuelo en sector hidrogeológico CA-I-5

Como se evidencia en la Figura III.1.2.4.3.1, prevalece un potencial de carga contaminante Elevado sobre los cuerpos de agua subterráneos, situación que implica una contaminación ALTA hacia los cuerpos de agua del sector hidrogeológico CA-I-5.

Conclusiones parciales

La evaluación de la carga contaminante asociadas a las fuentes puntuales enmarcadas en el sector CAI-5 permitió conocer la incidencia real de estas fuentes sobre la posible contaminación de los cuerpos de agua y fuentes de abasto debido a que:

- Se Incumplen con la NC 27/2012 que establece los límites máximos permisibles para vertimiento de aguas residuales a las aguas subterráneas, a cuerpos de Clase A en el contexto de indicadores químicos (DQO, DBO5), y calidad sanitaria (Coliformes termotolerantes)
- La situación reflejada en la investigación fundamenta la inclusión de la contaminación entre los principales problemas identificados y en particular la producida por la gestión inadecuada de los residuales líquidos derivados de las fuentes puntuales enmarcadas en el sector CA-I-5
- En los impactos ambientales generados por estos residuales, inciden otros factores como la insuficiente introducción de las estrategias de producción

más limpia para minimizar la contaminación en la fuente de origen, la utilización de tecnologías no idóneas para garantizar los requerimientos de remoción de los contaminantes de interés antes del vertimiento a los cuerpos receptores, la inadecuada operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento construidos y la ausencia de estrategias para el reuso de aguas residuales.

- El mapa de potencial de carga contaminante derivado de las fuentes puntuales, muestra que las áreas elevadas predominan en el sector hidrogeológico CAI-5I, por lo que se debe establecer de forma inmediatas medidas para la protección del acuífero subterráneo y las zonas de protección sanitarias de las fuentes de abasto.

III.1.3 Mapa integrado de Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, zonas de protección sanitarias a las fuentes de abasto y de carga contaminante, en el sector CA-I-5. Determinación del peligro de contaminación

Como resultado se integran los mapas de Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, Zonas de Protección Sanitarias y Carga Contaminante

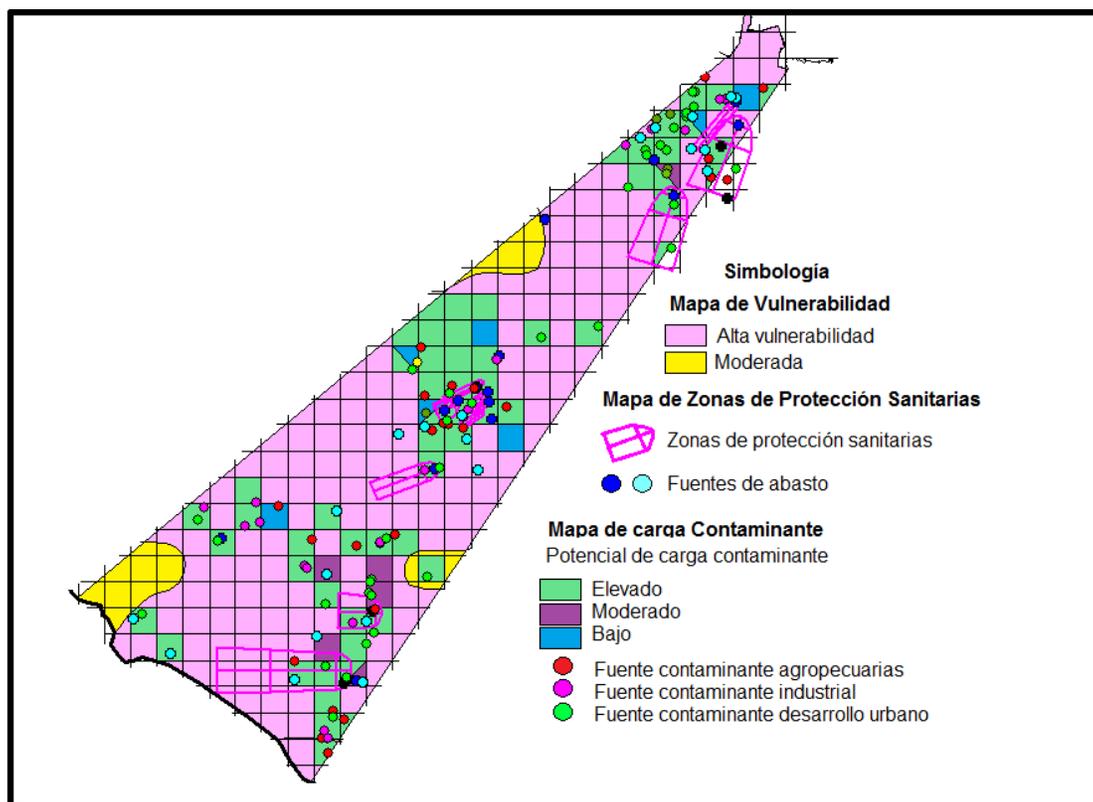


Figura III.1.3.1 Mapa integrado Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, Vidal et al. (2015), Zonas de protección sanitarias (ZPS) y carga contaminante.

En la Figura III.1.3.1 se observa como el 94 % del sector hidrogeológico CA-I-5 de la cuenca norte de la provincia, presenta alta vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, el resto es moderado. Sobre esta área vulnerable inciden las cargas contaminantes desde las principales fuentes identificadas, provenientes de las actividades del sector agropecuario, industrial y el desarrollo urbano.

El peligro de contaminación se manifiesta en este sector hidrogeológico CA-I-5 desde las dos aristas tal y como plantean Foster (1987) y Foster & Hirata (1988), la interacción de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, consecuencia de las características naturales de los estratos que lo separan de la superficie del suelo, con la carga contaminante y la interacción de las zonas de protección sanitarias con la carga contaminante que se aplica como resultado de la actividad humana.

La Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos por depender de las características naturales de los estratos, se considera un factor permanente dentro de la evaluación del peligro, por lo que dependerá básicamente de la carga contaminante que se dispone, factor cambiante ya que depende de la actividad que genera la carga.

Las fuentes contaminantes de este sector provienen de seis actividades fundamentalmente: el desarrollo urbano con los asentamientos urbanos, suburbanos, rurales, hospitales y unidad militar, con un total de 38 fuentes. Las industrias diversas (alimentos, bebidas, talleres mecánicos, lavanderías, azucareras, grupos electrógenos, planta de asfalto) con un total de 24. La actividad agropecuaria (crianza porcina, avícola, prácticas agrícolas) con un total de 34 fuentes. Las urbanas varias donde se tienen en cuenta las gasolineras, cementerios y naves de ómnibus, con 6 fuentes en total y la disposición de residuos con un vertedero (Tabla III.1.3.1). En esta tabla se refleja además la valoración de la vulnerabilidad a la contaminación según la ubicación de la fuente, donde solamente uno de los asentamientos en zona rural se ubica en una zona de moderada vulnerabilidad, el resto es alto.

En este trabajo al valorar estas condiciones se ha evaluado el peligro de contaminación en función directamente de la carga que genera la actividad en la fuente contaminante, por lo que el mapa integrado (Figura III.1.3.1) representa las zonas de bajo, moderado o alto peligro de contaminación de las aguas subterráneas, que también se representan en la Tabla III.1.3.1 por cada una de las fuentes.

Para este caso, se presentan las fuentes de abasto más importantes del sector hidrogeológico CA-I-5, por cada uno de los municipios dentro del sector hidrogeológico y la valoración de la vulnerabilidad y el peligro de contaminación en dependencia de la situación y ubicación de las fuentes contaminantes en la zona de captura y alimentación (Tabla III.1.3.2).

Tabla III.1.3.1 Fuentes contaminantes del Sector Hidrogeológico CA-I-5.

| Actividad | Focos contaminantes | Cantidad | Carga contaminante | Vulnerabilidad a la contaminación | Peligro de contaminación al acuífero |
|-----------------------|--|-----------------|---------------------------|--|---|
| Desarrollo Urbano | Asentamientos en zonas urbanas | 8 | Moderado | Alta | Moderado |
| | Asentamientos en zonas sub urbanas | 7 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Asentamientos en zonas rurales | 14 | Elevado | Alta 1 Moderada | Elevado |
| | Hospitales | 2 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Centros educacionales | 6 | Reducidos | Alta | Reducidos |
| | Unidad Militar | 1 | Moderado | Alta | Moderado |
| Industrial | Fábricas de alimentos | 15 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Fabrica de bebidas | 1 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Talleres mecánicos | 2 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Lavanderías | 2 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Industria Azucarera | 1 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Industria Alevinaje | 1 | Reducido | Alta | Reducido |
| | Grupos electrógenos | 1 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Planta asfalto | 1 | Elevado | Alta | Elevado |
| Exploración petrolera | Operación de campus de petróleo | 1 | Elevado | Alta | Elevado |
| Agropecuaria | Crianza de ganado porcino(productores) | 28 | Elevado | Alta | Elevado |
| | Empresa avícola | 1 | Reducido | Alta | Reducido |
| | Practicas agrícolas | 4 | Elevado | Alta | Elevado |

| | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|------------|----------|------|----------|
| | Centro de investigación | 1 | Elevado | Alta | Elevado |
| Urbanas varias | Cementerios | 2 | Reducido | Alta | Reducido |
| | Gasolineras | 3 | Moderado | Alta | Moderado |
| | Nave de ómnibus | 1 | Elevado | Alta | Elevado |
| Disposición de residuos | Vertederos | 1 | Reducido | Alta | Reducido |
| Total | | 104 | | | |

Tabla III.1.3.2 Fuentes de abasto y zonas de protección sanitaria. Peligro de contaminación en la zona de captura y zona de alimentación.

| Municipio | Fuente de abasto | Vulnerabilidad a la contaminación | Peligro de contaminación en la zona de captura | Peligro de contaminación en la zona de alimentación |
|----------------|------------------|-----------------------------------|--|---|
| Morón | Alevinaje | Alta | Moderado | Moderado |
| | Patria III | Alta | Moderada | Elevado |
| | Km 35 | Alta | Elevado | Elevado |
| Ciro Redondo | La Pradera | Alta | Elevado | Bajo |
| | Barrio Nuevo | Alta | Elevado | Elevado |
| | El Micro | Alta | Elevado | Elevado |
| | Fondo PCC | Alta | Elevado | Elevado |
| | Eucaliptos | Alta | Elevado | Bajo |
| Ciego de Ávila | Manguito | Alta | Elevado | Bajo |
| | Ceballos | Alta | Elevado | Elevado |
| | Ruspoli | Alta | Elevado | Moderado |

Ejemplos de fuentes contaminantes:

Patria III (Zona de alimentación): Reparto la Victoria (Alto), Formatur (Moderado), Ciba (Elevado)

Ceballos (Zona de captura): Casas de cultivo, combinado cítrico, fábrica de cerveza, urbanización, cementerio

Conclusiones parciales

- Las principales cargas contaminantes se generan desde las actividades agropecuarias, industriales y de urbanización que se encuentran además

dentro de las zonas de protección sanitarias de las fuentes de abastos más importantes del sector y las aisladas.

- La valoración de Alto peligro de contaminación de las aguas en el sector es predominante, en concordancia con las características de la carga que se genera por actividad, según fue valorada por la metodología POSH.
- El mapa integrado de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, zonas de protección sanitarias y carga contaminante, constituye una herramienta importante dentro de las estrategias para la protección de la calidad de las aguas subterráneas y fuentes de abasto ya que permite evaluar el peligro de contaminación de este recurso
- Se recomienda realizar un programa de gestión para la protección de las aguas subterráneas de forma en general y las fuentes de abasto, teniendo en cuenta un nivel de prioridad de acciones según la categoría del peligro de contaminación.

III.1.4 Determinación de la vulnerabilidad ambiental de las fuentes de abasto del sector hidrogeológico CA-I-5 de la cuenca norte de la provincia Ciego de Ávila, teniendo en cuenta los escenarios de cambio climático.

Como resultado del taller de expertos tanto por los especialistas e investigadores que participan en el proyecto, de 8 indicadores propuestos, resultaron 8 para la evaluación por fuentes de la Vulnerabilidad Ambiental

III.1.4.1 Disponibilidad del recurso por fuentes

Se actualizaron los GCBAS del sector hidrogeológico CA-I-5 en las zonas alta, media y baja del sector. (Figura III.1.4.1.1)

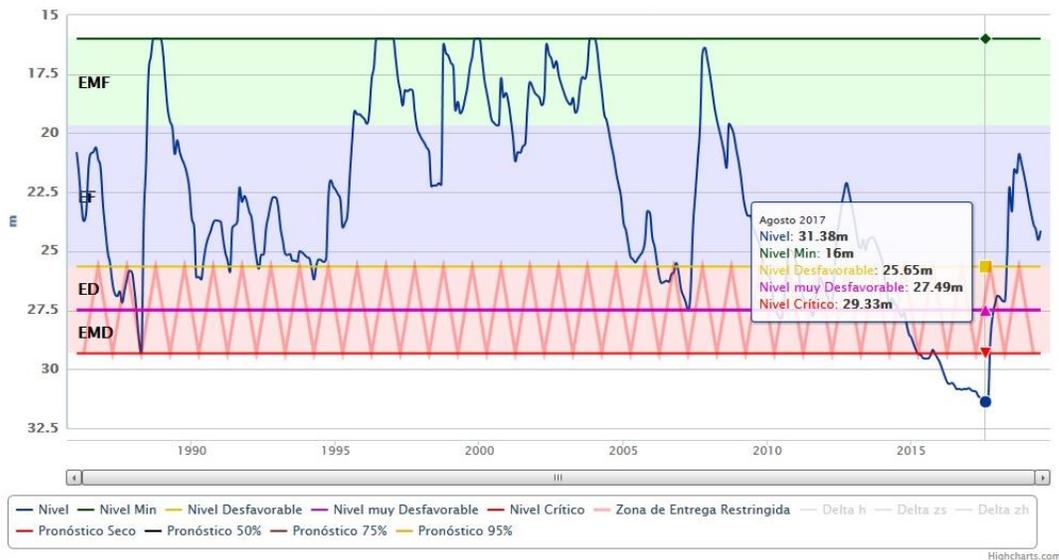


Figura III.1.4.1.1 Gráfico de Control de Balance de las aguas subterráneas L3M, representando la parte alta del sector

En la parte alta del sector hidrogeológico CA-I-5 se ubican las fuentes de abasto Ruspoli y Ceballos. El limnigrama dentro del gráfico (línea azul) muestra el comportamiento de los niveles a lo largo de los años (1986-2019). Se observa claramente los años en que se han presentado niveles críticos, donde se han observado síntomas de agotamiento por la escasez de lluvias, única fuente de alimentación de los acuíferos en el territorio y la explotación a la que están sometidos. Se observa además como del año 1994-2004 las fuentes se encontraban en la zona de garantía del recurso y como se aprecian claramente tres momentos en que se producen niveles críticos y máximos en el mismo año (1988; 2007 y 2017). Siendo en este último, el año más crítico cuando los pozos de abasto Ruspoli se agotaron completamente.

En los otros momentos, el abasto de agua se garantizó a la población, tomando las medidas de restricción establecidas para estos casos, a otras fuentes de abastos circundantes para otras actividades (riego, industrial)

La recarga media neta (Δh) en esta zona es de 3.33 m, teniendo años que oscilaron de 6.14 hasta 13.33 m. Según otros parámetros hidrogeológicos: Descarga del período húmedo y seco (Δz_h , Δz_c), Altura aparente de alimentación (ΔH) y la descarga anual total (ΔZ), (Tabla 1.4.1.1), el acuífero se encuentra sobre explotado.

Tabla III.1.4.1.1 Parámetros hidrogeológicos del acuífero en la zona alta del sector.

| Año | Δh | Δz_h | Δz_c | ΔH | ΔZ | | |
|----------|------------|--------------|--------------|------------|------------|---------|-----------------|
| 1986 | 3.12 | 0.00 | 0.00 | 3.12 | 0.00 | | |
| 1987 | 1.55 | 2.14 | 0.48 | 3.89 | 2.82 | | |
| 1988 | 13.33 | 3.50 | 3.50 | 18.83 | 7.00 | | |
| 1989 | 0.59 | 0.54 | 4.89 | 1.13 | 5.43 | | |
| 1990 | 2.53 | 1.39 | 0.11 | 3.92 | 1.50 | | |
| 1991 | 3.85 | 2.09 | 0.82 | 5.94 | 2.71 | | |
| 1992 | 3.03 | 3.08 | 3.08 | 6.11 | 6.16 | | |
| 1993 | 0.49 | 0.52 | 0.33 | 1.01 | 0.85 | | |
| 1994 | 4.30 | 0.55 | 0.10 | 4.85 | 0.85 | | |
| 1995 | 4.95 | 2.00 | 2.00 | 6.95 | 4.00 | | |
| 1996 | 3.80 | 0.44 | 0.55 | 4.04 | 0.99 | | |
| 1997 | 0.74 | 0.32 | 0.06 | 1.06 | 0.38 | | |
| 1998 | 6.14 | 0.55 | 0.08 | 6.89 | 0.83 | | |
| 1999 | 3.54 | 3.51 | 0.49 | 7.05 | 4.00 | | |
| 2000 | 2.19 | 1.19 | 0.82 | 3.38 | 2.01 | | |
| 2001 | 3.40 | 0.84 | 0.03 | 4.25 | 0.88 | | |
| 2002 | 2.88 | 0.73 | 1.02 | 3.61 | 1.75 | | |
| 2003 | 3.50 | 2.33 | 0.08 | 5.83 | 2.41 | | |
| 2005 | 2.17 | 2.49 | 3.77 | 4.66 | 6.26 | | |
| 2006 | 0.90 | 1.17 | 0.05 | 2.07 | 1.22 | | |
| 2007 | 11.14 | 2.83 | 2.02 | 13.97 | 4.85 | | |
| 2008 | 1.87 | 0.73 | 5.09 | 2.60 | 5.82 | | |
| 2010 | 2.90 | 1.13 | 3.05 | 4.03 | 4.17 | | |
| 2011 | 1.75 | 1.40 | 0.38 | 3.15 | 1.76 | | |
| 2012 | 5.04 | 1.78 | 1.02 | 6.83 | 2.80 | | |
| 2013 | 0.92 | 1.78 | 0.44 | 2.70 | 2.22 | | |
| 2014 | 0.38 | 0.59 | 0.77 | 0.97 | 1.36 | | |
| 2015 | 0.37 | 0.39 | 1.95 | 0.76 | 2.34 | | |
| 2016 | 0.09 | 0.38 | 0.01 | 0.47 | 0.39 | | |
| 2017 | 0.04 | 0.01 | 0.58 | 0.05 | 0.59 | | |
| 2018 | 11.96 | 1.79 | 0.17 | 13.75 | 1.96 | | |
| Promedio | 3.33 | 1.57 | 3.18 | 6.66 | 6.35 | β | Estado |
| Total | 103.29 | 47.15 | 95.28 | 150.41 | 142.43 | 2.45 | Sobre Explotado |

Para la zona media del sector, donde se encuentran las fuentes de abasto del municipio Ciro Redondo, en la zona media del sector hidrogeológico, el GCBAS (Figura III.1.4.1.2), muestra los niveles críticos, en las mismas fechas que en la zona anteriormente descrita, pero sin llegar al agotamiento de los pozos. El nivel crítico extremo se manifestó igualmente en septiembre del año 2017, a la misma

vez que máximos niveles. Generalmente en esta zona del sector el acuífero se encontró en entrega garantizada a lo largo de los años.



Figura III.1.4.1.2 GCBAS zona media del sector hidrogeológico CA-I-5

En esta zona los para metros hidrogeológicos indican también una sobre explotación del acuífero (Tabla III.1.4.1.2)

Tabla III.1.4.1.2 Parámetros hidrogeológicos del acuífero en la zona media del sector.

| Año | Δh | Δzh | Δzs | ΔH | ΔZ | β | Estado |
|----------|------------|-------------|-------------|------------|------------|---------|-----------------|
| 1986 | 2.92 | 1.17 | 0.57 | 4.09 | 1.74 | | |
| 1987 | 2.77 | 1.17 | 0.48 | 3.94 | 1.65 | | |
| 1988 | 10.65 | 4.25 | 3.54 | 14.80 | 7.79 | | |
| 1989 | 0.32 | 0.89 | 1.57 | 1.21 | 2.48 | | |
| 1990 | 2.84 | 1.70 | 0.85 | 4.54 | 2.55 | | |
| 1991 | 3.17 | 2.14 | 0.38 | 5.31 | 2.52 | | |
| 1992 | 1.43 | 2.20 | 1.01 | 3.83 | 3.21 | | |
| 1993 | 2.83 | 2.38 | 0.50 | 5.01 | 2.88 | | |
| 1994 | 3.84 | 4.37 | 0.55 | 8.21 | 4.92 | | |
| 1995 | 4.98 | 2.05 | 0.23 | 7.03 | 2.28 | | |
| 1996 | 2.80 | 1.85 | 0.80 | 4.45 | 2.85 | | |
| 1997 | 0.27 | 0.43 | 0.08 | 0.70 | 0.49 | | |
| 1998 | 3.13 | 1.25 | 0.58 | 4.38 | 1.83 | | |
| 1999 | 3.64 | 1.99 | 0.74 | 5.63 | 2.73 | | |
| 2000 | 1.60 | 7.27 | 1.03 | 8.87 | 8.30 | | |
| 2001 | 4.06 | 2.52 | 0.84 | 6.58 | 3.38 | | |
| 2002 | 5.85 | 1.07 | 0.65 | 6.92 | 1.72 | | |
| 2003 | 0.45 | 2.28 | 0.88 | 2.71 | 3.12 | | |
| 2004 | 0.15 | 1.78 | 1.64 | 1.93 | 3.42 | | |
| 2005 | 3.10 | 1.10 | 3.21 | 4.20 | 4.31 | | |
| 2006 | 3.18 | 1.75 | 0.58 | 4.93 | 2.33 | | |
| 2007 | 9.25 | 2.75 | 1.12 | 12.01 | 3.88 | | |
| 2008 | 1.68 | 0.47 | 3.78 | 2.15 | 4.25 | | |
| 2009 | 0.65 | 0.81 | 1.15 | 1.46 | 1.96 | | |
| 2010 | 5.38 | 2.41 | 1.57 | 7.79 | 3.98 | | |
| 2011 | 4.62 | 2.17 | 2.53 | 6.89 | 4.70 | | |
| 2012 | 2.82 | 1.00 | 0.32 | 3.82 | 1.32 | | |
| 2013 | 1.33 | 0.31 | 1.88 | 1.64 | 2.19 | | |
| 2014 | 1.52 | 0.79 | 0.58 | 2.31 | 1.37 | | |
| 2015 | 1.05 | 1.38 | 2.75 | 2.42 | 4.13 | | |
| 2016 | 1.60 | 0.71 | 1.05 | 2.31 | 1.76 | | |
| 2017 | 6.83 | 1.07 | 0.28 | 7.70 | 1.35 | | |
| 2018 | 7.37 | 1.44 | 1.22 | 8.81 | 2.66 | | |
| Promedio | 3.25 | 1.85 | 2.97 | 6.51 | 5.93 | | |
| Total | 107.38 | 60.92 | 97.88 | 188.30 | 188.78 | 1.97 | Sobre Explotado |

La zona baja del sector, es la zona de descarga del acuífero con los límites del Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila, donde se encuentran las fuentes de

abasto del municipio Morón, el comportamiento de los niveles (Figura III.1.4.1.3), se observa como las aguas subterráneas se encuentran de forma general dentro de la zona de entrega garantizada, e igualmente los niveles más bajos se observan en las fechas antes mencionadas.

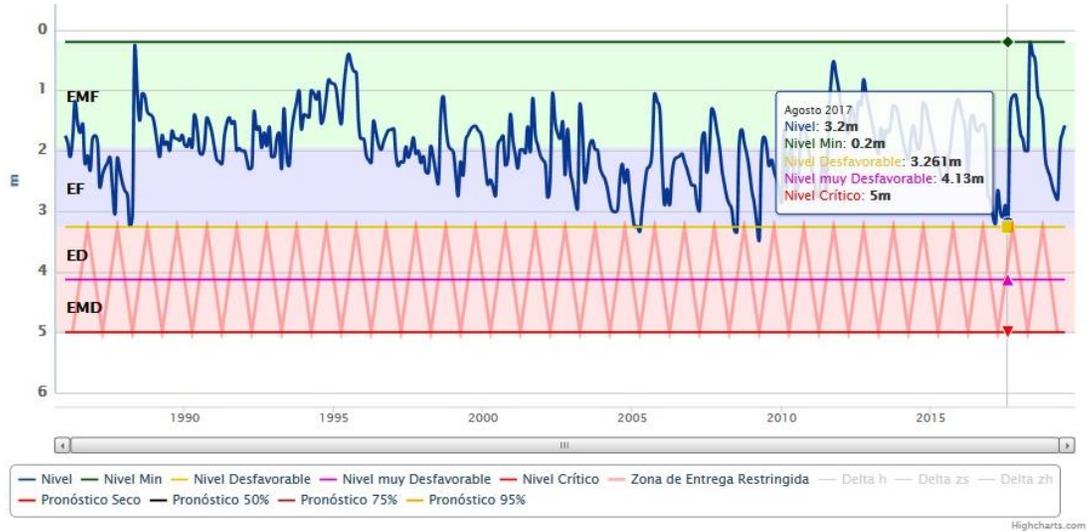


Figura III.1.4.1.3 GCBAS zona baja del sector hidrogeológico CA-I 5.

En esta zona baja, los parámetros hidrogeológicos indican una sub explotación del acuífero (Tabla III.1.4.1.3)

Tabla III.1.4.1.3 Parámetros hidrogeológicos del acuífero en la zona baja del sector.

| Año | Δh | Δzh | Δzs | ΔH | ΔZ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1986 | 1.21 | 0.93 | 0.25 | 2.14 | 1.18 |
| 1987 | 2.03 | 4.42 | 0.95 | 6.45 | 5.37 |
| 1988 | 3.44 | 1.08 | 1.25 | 4.52 | 2.33 |
| 1989 | 0.83 | 0.51 | 0.16 | 1.34 | 0.67 |
| 1990 | 1.29 | 0.69 | 0.66 | 1.98 | 1.35 |
| 1991 | 0.85 | 0.97 | 0.49 | 1.83 | 1.46 |
| 1992 | 1.58 | 1.05 | 0.22 | 2.63 | 1.27 |
| 1993 | 2.65 | 2.75 | 0.65 | 5.40 | 3.40 |
| 1994 | 1.96 | 2.37 | 0.53 | 3.93 | 2.90 |
| 1995 | 1.16 | 0.44 | 0.74 | 1.60 | 1.18 |
| 1996 | 0.70 | 0.20 | 0.48 | 0.90 | 0.68 |
| 1997 | 1.06 | 2.06 | 0.20 | 3.12 | 2.26 |
| 1998 | 2.01 | 0.90 | 0.63 | 2.91 | 1.53 |
| 1999 | 1.39 | 1.43 | 0.23 | 2.81 | 1.66 |
| 2000 | 1.93 | 1.58 | 0.49 | 3.51 | 2.07 |
| 2001 | 1.64 | 0.75 | 0.42 | 2.39 | 1.17 |
| 2002 | 2.78 | 1.69 | 0.89 | 4.47 | 2.58 |
| 2003 | 2.45 | 2.30 | 1.31 | 4.75 | 3.61 |
| 2004 | 1.01 | 0.70 | 0.31 | 1.71 | 1.01 |
| 2005 | 2.30 | 0.86 | 0.09 | 3.16 | 0.95 |
| 2006 | 1.12 | 1.81 | 0.27 | 2.93 | 2.08 |
| 2007 | 2.36 | 1.59 | 0.66 | 3.95 | 2.25 |
| 2008 | 1.70 | 0.41 | 2.05 | 2.11 | 2.46 |
| 2009 | 1.82 | 0.77 | 0.48 | 2.89 | 1.25 |
| 2010 | 3.03 | 2.90 | 0.82 | 5.93 | 3.72 |
| 2011 | 2.81 | 2.04 | 0.57 | 4.85 | 2.61 |
| 2012 | 1.24 | 0.41 | 0.07 | 1.65 | 0.48 |
| 2013 | 1.11 | 0.58 | 0.04 | 1.67 | 0.80 |
| 2014 | 1.34 | 0.69 | 0.39 | 2.03 | 1.08 |
| 2015 | 1.36 | 0.73 | 1.31 | 2.09 | 2.04 |
| 2016 | 1.11 | 0.90 | 0.27 | 2.00 | 1.17 |
| 2017 | 2.29 | 1.46 | 0.30 | 4.34 | 1.76 |
| 2018 | 1.80 | 0.19 | 0.93 | 1.99 | 1.12 |
| Promedio | 1.74 | 1.26 | 1.69 | 3.49 | 3.37 |
| Total | 57.96 | 42.10 | 55.66 | 99.66 | 97.76 |

III.1.4.2 Disponibilidad de agua por fuentes (índice de fallo)

El índice de fallo se refiere solamente a las fuentes de abasto que se ubican en la zona alta del acuífero (Ruspoli y Virginia), ya que el servicio de agua se ha visto afectado por agotamientos en los pozos.

En el resto de las fuentes, se ha garantizado el abasto a la población a partir de las medidas de restricción de explotación para otros abastos, tomadas en el sector hidrogeológico, teniendo en cuenta el estado del acuífero y el sistema de alerta temprana.

III.1.4.3 Ubicación de la fuente con relación al peligro de Sequía.

Teniendo en cuenta los estudios de PVR por sequía (CITMA, 2011), realizados en la provincia Ciego de Ávila, se generó el mapa de sequía relacionado con las pendientes del terreno. (Figura 1.4.3.1)

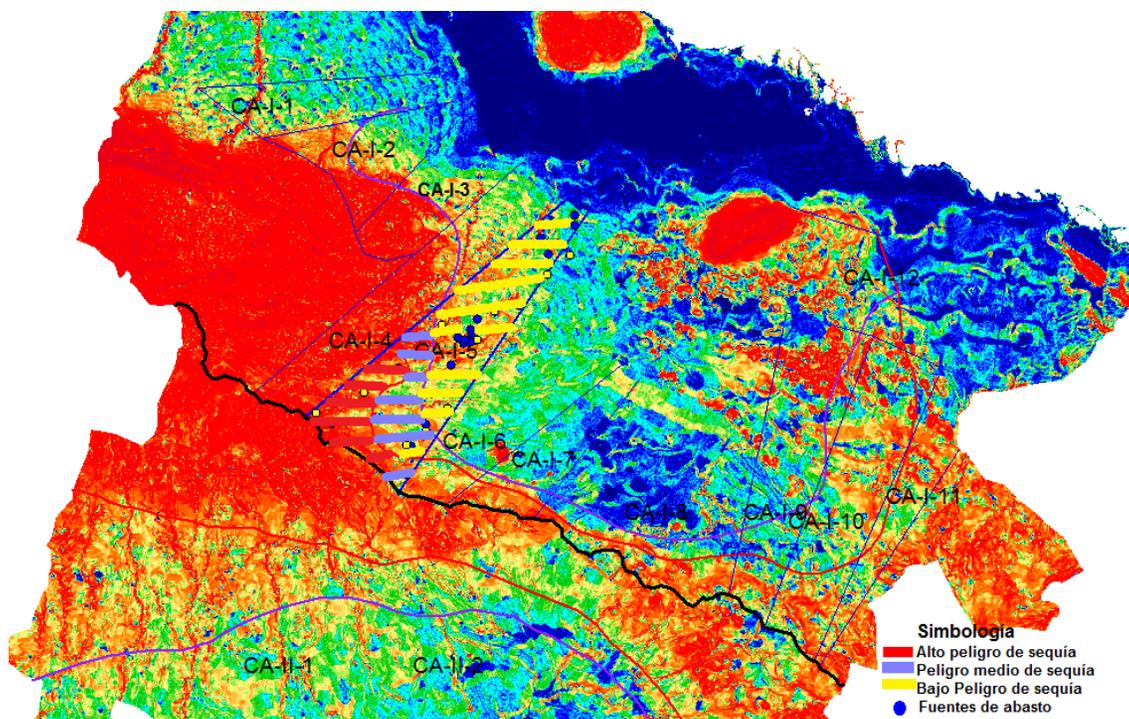


Figura III.1.4.3.1 Mapa de Peligros de sequía con pendiente del terreno.

Se puede observar en la figura anterior que las fuentes de abasto en estudio ubicadas en la zona alta del sector hidrogeológico CA-I-5, (Ruspoli y Ceballos), se encuentran en la zona de peligro medio y el resto de las fuentes ubicadas en las zonas medias y bajas del sector, en la zona de bajo peligro de sequía.

III.1.4.4 Calidad del agua.

Con relación a la calidad del agua se analiza principalmente a partir de los resultados de laboratorio en los últimos años, de las características de las aguas que más impactan sobre la salud humana (Coliformes termotolerantes CTT, Coliformes totales CT, Cloruros CL y Nitritos NO₂).

En el caso de las fuentes ubicadas en la zona alta del sector hidrogeológico CA-I-5 (Ruspoli y Ceballos), se encuentran en una zona rural, que la calidad del agua

se puede ver afectada por el vertimiento de residuales sin o deficientes tratamientos y se desarrolla actividad agrícola en gran extensión en la zona de captura.

En esta zona del sector hidrogeológico el comportamiento del cloruro se mantiene por debajo de los límites máximos permisibles para el abasto humano (Figura III.1.4.4.1)

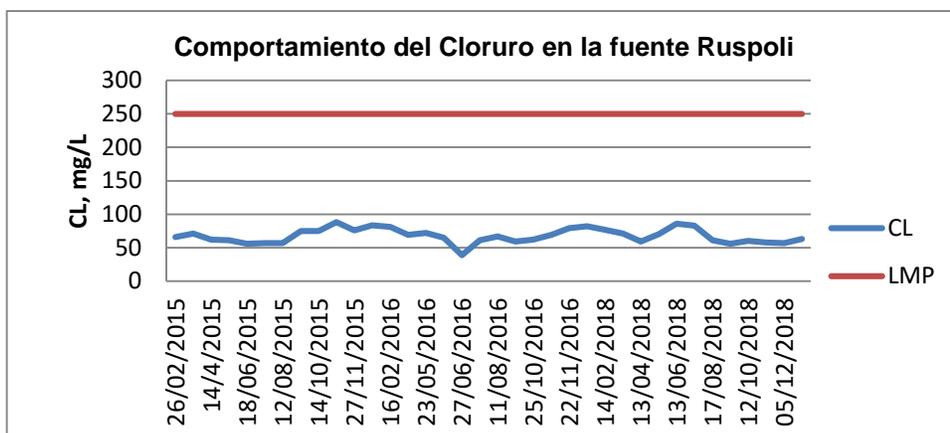


Figura III.1.4.4.1. Comportamiento del cloruro en la zona alta del sector hidrogeológico CA-I-5.

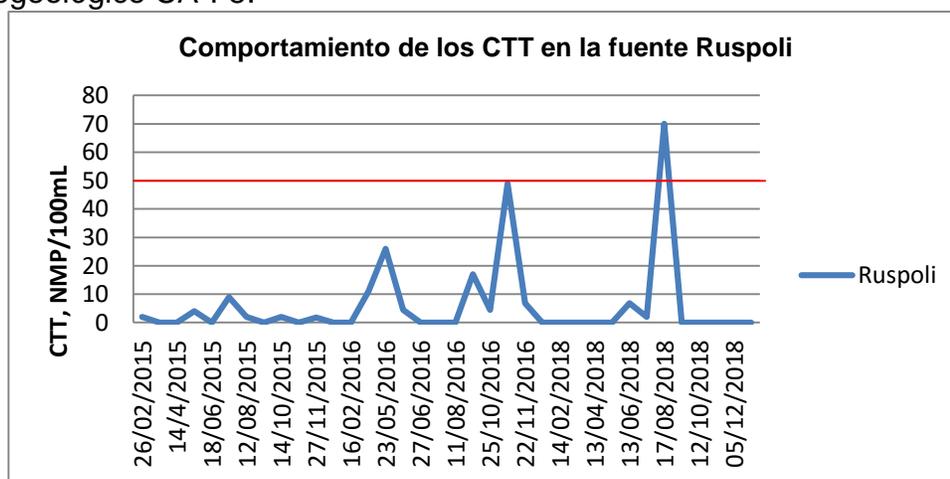


Figura III.1.4.4.2 Comportamiento de los Coliformes Termotolerantes (CTT), en la parte alta del sector sector hidrogeológico CA-I-5

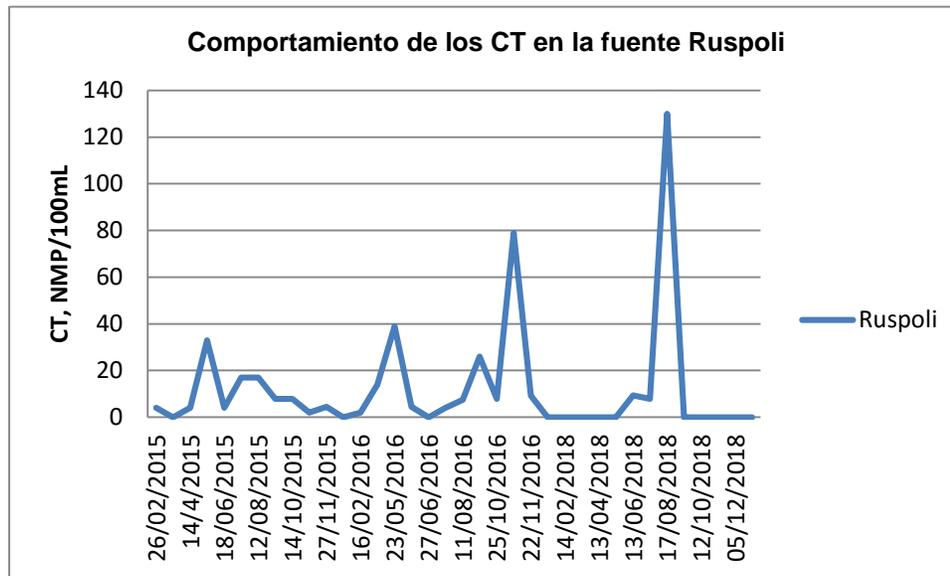


Figura III.1.4.4.3 Comportamiento de los Coliformes Totales (CT), en la parte alta del sector sector hidrogeológico CA-I-5

Según la NC 827/2012, Agua potable. Requisitos sanitarios, en las aguas de consume humano no deben existir microorganismos patógenos tales como bacterias, virus o parásitos. Como requisito microbiológico de la calidad sanitaria del agua potable los parámetros deben estar en < 2 NMP/100 mL. Con relación a los resultados de los análisis microbiológicos, en esta zona alta del sector podemos observar la presencia de organismos patógenos. Para regular la calidad de las aguas potables la NC 1021/2014, establece los límites máximos admisibles de las características físico-química y microbiológica de las aguas para la aplicación de procesos de desinfección o convencionales.

En el caso de las fuentes de la zona alta del sector, se observa la presencia de patógenos en las aguas por lo que son sometidas a procesos de desinfección con hipoclorito de sodio.

Con relación a los CTT y CT (Figura III.1.4.4.2 y III.1.4.4.3), se observa solamente en un muestreo en agosto del año 2018, valores por encima del LMA para los CTT, que pudo estar asociado al período poco lluvioso, que causó infiltración de aguas con cierto grado de contaminación donde existe un acuífero relativamente somero que recibe gran parte de la recarga de la localidad con tratamiento de residuales a partir de fosas y letrinas y desarrollo intensivo de la agricultura

Para las fuentes ubicadas en la zona centro del sector hidrogeológico CA-I-5, el comportamiento del cloruro se observa en la Figura III.1.4.4.4. En las siete fuentes de abasto que se analizan, el cloruro se encuentra por debajo del límite máximo permisible.

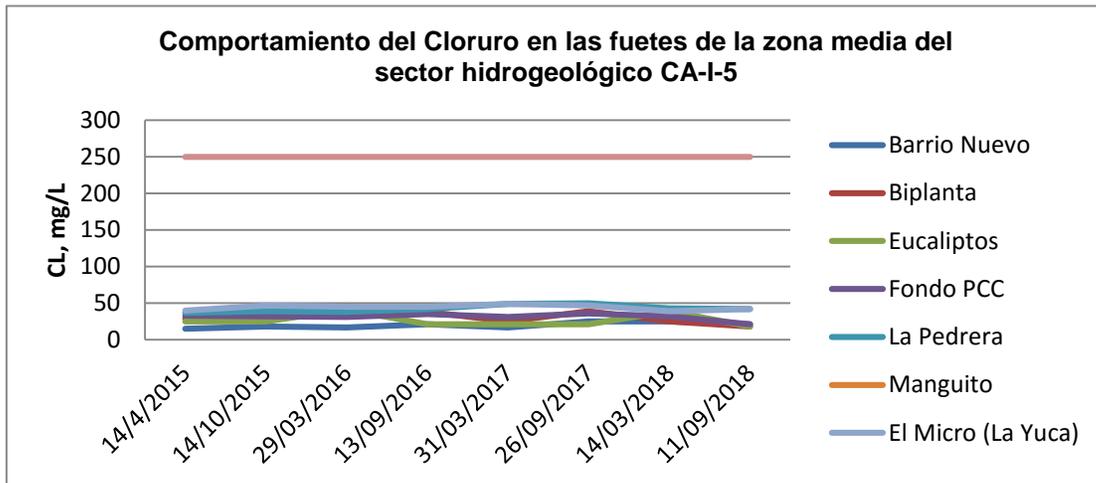


Figura III.1.4.4.4. Comportamiento del cloruro en las fuentes de la zona media del sector.

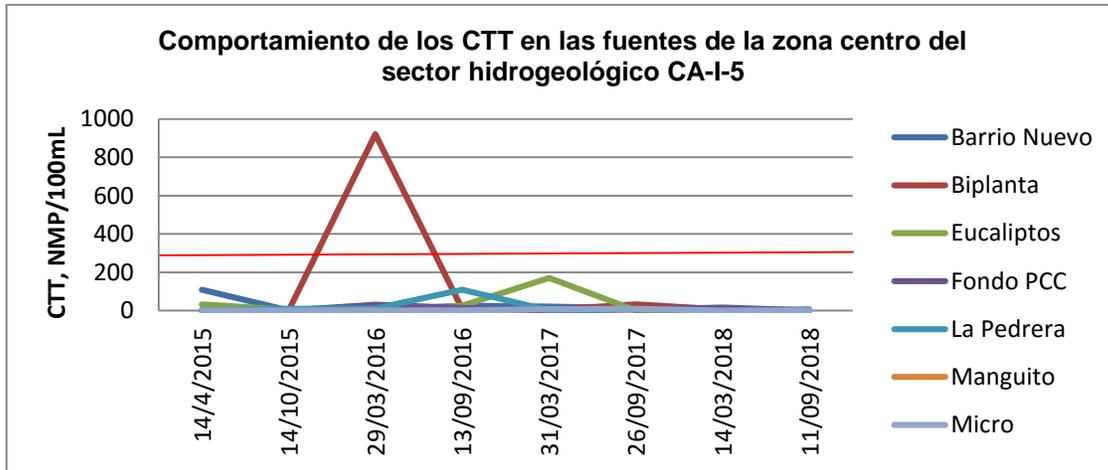


Figura III.1.4.4.5 Comportamiento de los CTT en las fuentes de abasto de la zona centro del sector

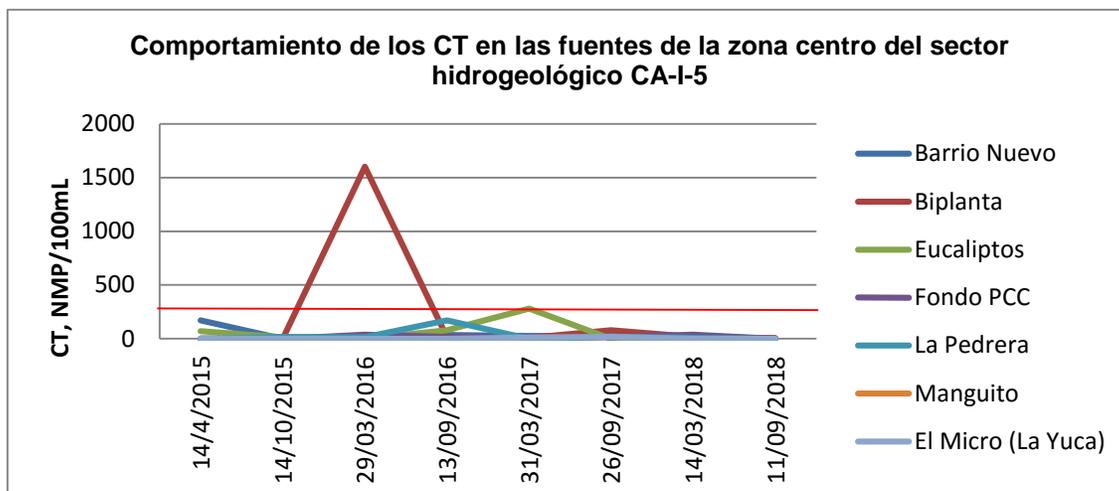


Figura III.1.4.4.6 Comportamiento de los CT en las fuentes de abasto en la zona media del sector.

Para las fuentes ubicadas en la zona baja del sector hidrogeológico CA-I-5, el comportamiento del cloruro se observa en las Figuras III.1.4.4.7 y III.1.4.4.8. En la Figura III.1.4.4.7 se muestran los resultados de la fuente Patria III, que es representativo para el resto de las fuentes de la zona del sector, cuando los valores del cloruro se encuentran muy por debajo de los LMP, sin embargo en la Figura III.1.4.4.8, se puede observar como en la fuente Patria Alevinaje, los valores del cloruro se encuentran muy cerca del LMP y en un momento en febrero del año 2017, excede el LMP, para luego mantenerse por debajo, pero bordeando el límite. Este comportamiento se debe al fenómeno de intrusión salina en el área de ubicación de la fuente, además de que en el año 2017 se produjo un escenario de sequía hidráulica nunca antes observado en la provincia Ciego de Ávila.

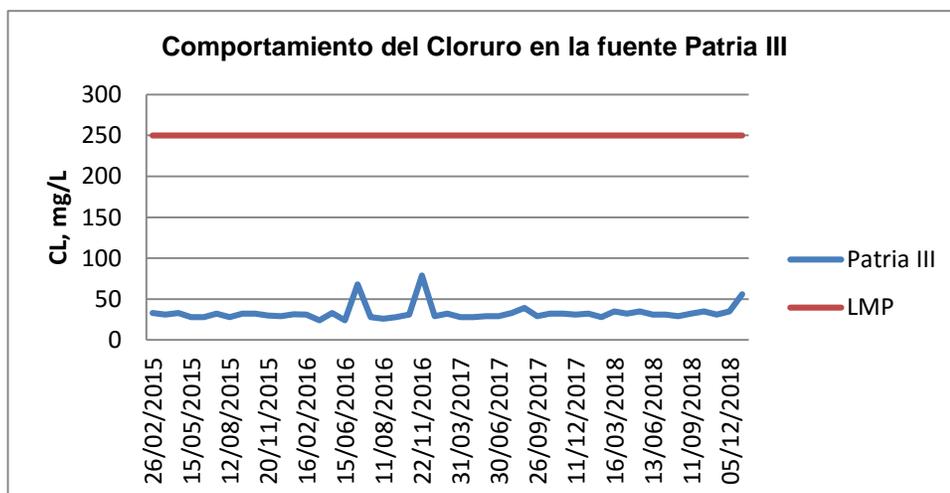


Figura III.1.4.4.7 Comportamiento del cloruro en las fuentes de la zona baja del sector.

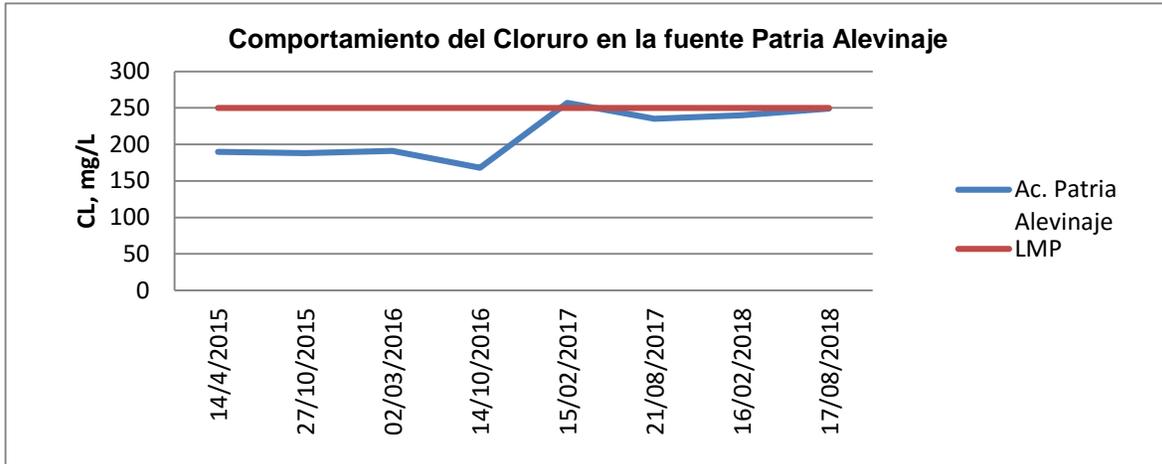


Figura III.1.4.4.8 Comportamiento del cloruro en la fuente de abasto Patria Alevinaje.

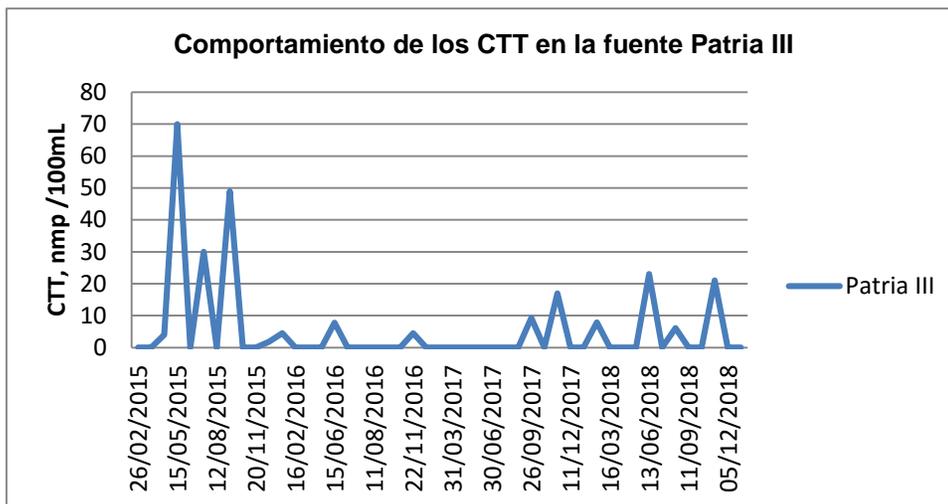


Figura III.1.4.4.9

Comportamiento de los CTT en la fuente Patria III

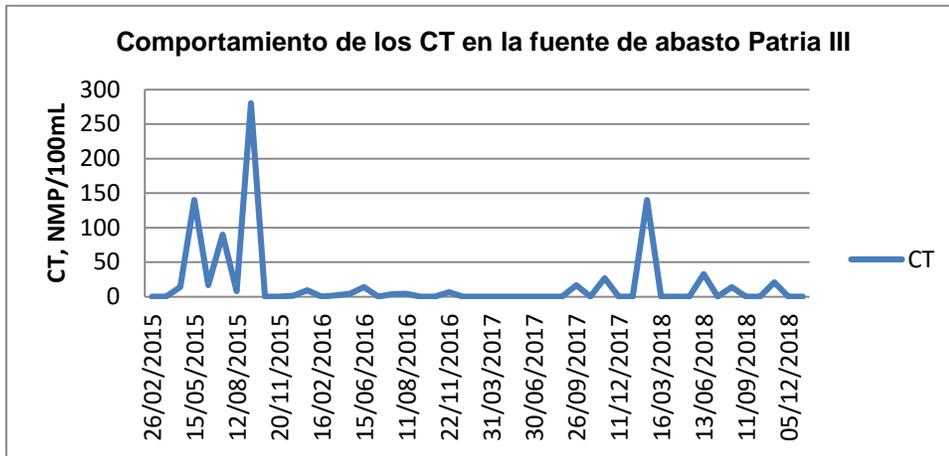


Figura III.1.4.4.10 Comportamiento de los CT en la fuente de abasto Patria III.

En el caso de los CTT y CT en la zona baja del sector hidrogeológico, se puede observar en los gráficos, como existe presencia de patógenos en las aguas por lo que la NC antes mencionada exige la realización de procesos de desinfección. Solamente se observa un momento que estos dos elementos se exceden de los LMP en el año 2015, que pudo estar asociado al inicio del período lluvioso, que causó infiltración de aguas con cierto grado de contaminación dado el arrastre de las mismas

Con relación a otros elementos químicos inorgánicos de contaminación que influyen sobre la salud humana, se muestra la presencia de Nitrato (NO_3), Nitritos (NO_2) y Amonio (NH_4), en las caracterizaciones de las aguas realizadas a las fuentes de abasto del sector.

Tabla III.1.4.4.1 Comportamiento de los nitratos.

| Zona Hidrogeológica | Fuente | LMP | 45,00 |
|---------------------|--------------|------------|---------------------------|
| | | Fecha | NO_3^{1+} (mg/L) |
| Zona alta | Ruspoli | 29/01/2018 | 17 |
| | | 14/02/2018 | 22 |
| | | 16/03/2018 | 16 |
| | | 13/04/2018 | 23 |
| | | 11/05/2018 | 16 |
| | | 15/11/2018 | 19 |
| | | 05/12/2018 | 24 |
| | | 08/01/2019 | 19 |
| | Ceballos | 16/02/2018 | 23 |
| Zona media | Barrio Nuevo | 26/09/2017 | 25 |
| | | 14/03/2018 | 19 |
| | Biplanta | 26/09/2017 | 57 |
| | | 14/03/2018 | 14 |
| | | Eucalipto | 26/09/2017 |

| | | | |
|-----------|------------------|------------|----|
| | | 14/03/2018 | 17 |
| | | 26/09/2017 | 41 |
| | Fondo PCC | 14/03/2018 | 16 |
| | | 26/09/2017 | 33 |
| | La Pedrera | 14/03/2018 | 20 |
| | Manguito | 22/06/2017 | 17 |
| | Micro La Yuca | 26/09/2017 | 28 |
| | | 16/03/2018 | 18 |
| Zona baja | Patria III | 30/06/2017 | 12 |
| | | 18/07/2017 | 20 |
| | | 21/08/2017 | 21 |
| | | 26/09/2017 | 26 |
| | | 12/10/2017 | 24 |
| | | 06/11/2017 | 19 |
| | | 11/12/2017 | 19 |
| | | 29/01/2018 | 14 |
| | | 16/02/2018 | 24 |
| | | 16/03/2018 | 13 |
| | | 17/04/2018 | 18 |
| | | 11/05/2018 | 14 |
| | | 15/11/2018 | 17 |
| | | 05/12/2018 | 13 |
| | 08/01/2019 | 16 | |
| | Patria Alevinaje | 21/08/2017 | 22 |
| | | 16/02/2018 | 26 |
| | km 35 | 21/08/2017 | 24 |
| | | 16/02/2018 | 27 |
| | Calle 10 | 21/08/2017 | 24 |
| | 2018.02.16 | 27 | |

Tabla III.1.4.4.2 Comportamiento de los nitritos

| Zona Hidrogeológica | Fuente | LMP | 0,01 |
|---------------------|----------------------|------------|--------------------------------------|
| | | Fecha | NO ₂ ¹⁺ (mg/L) |
| Zona alta | Ac. Ruspoli 3 | 14/4/2015 | 0,16 |
| | | 15/05/2015 | 0,16 |
| | | 18/03/2016 | 0,006 |
| | | 23/05/2016 | 0,23 |
| | | 16/03/2018 | 0.03 |
| | | 15/11/2018 | 0,01 |
| Zona media | Ac. Barrio Nuevo | 14/4/2015 | 1,86 |
| | Ac. Biplanta | 01/07/2016 | 125 |
| | | 13/09/2016 | 4,2 |
| | | 31/03/2017 | 0,83 |
| | | 26/09/2017 | 0,02 |
| | Ac. Eucalipto | 31/03/2017 | 0,03 |
| | | 26/09/2017 | 0,02 |
| | Ac. Fondo del PCC | 18/03/2016 | 0,02 |
| | Ac. Manguito | 24/03/2016 | 0,007 |
| | Ac. Micro (La Yuca) | 20/4/2015 | 0,27 |
| | | 14/10/2015 | 14,6 |
| 24/03/2016 | | 0,005 | |
| 16/03/2018 | | 0,03 | |
| Zona baja | Ac. Km 35 | 17/08/2018 | 0,08 |
| | Ac. Patria III | 25/06/2015 | 0,5 |
| | | 14/10/2015 | 0,16 |
| | | 18/03/2016 | 0,01 |
| | | 21/07/2016 | 0.045 |
| | | 18/07/2017 | 0,01 |
| | | 11/05/2018 | 0,01 |
| | | 05/12/2018 | 0,02 |
| | Ac. Patria Alevinaje | 21/08/2017 | 0,03 |

Tabla III.1.4.4.3 Comportamiento del amonio

| Zona Hidrogeológica | Fuente | Fecha | No presencia |
|---------------------|----------------------|------------|--------------------------------------|
| | | | NH ₄ ¹⁺ (mg/L) |
| Zona alta | Ac. Ruspoli 3 | 16/07/2015 | 0,003 |
| | | 15/06/2016 | 0,31 |
| Zona media | Ac. Barrio Nuevo | 14/4/2015 | 0,04 |
| | Ac. Biplanta | 13/09/2016 | 0,38 |
| | Ac. Micro (La Yuca) | 20/4/2015 | 0,24 |
| Zona baja | Ac. Patria III | 13/03/2015 | 0,28 |
| | | 18/09/2015 | 0,003 |
| | | 15/06/2016 | 0,003 |
| | | 21/08/2017 | 0,01 |
| | Ac. Calle 10 | 21/08/2017 | 0,01 |
| | Ac. Km 35 | 21/08/2017 | 0,01 |
| | Ac. Patria Alevinaje | 21/08/2017 | 0,01 |

Con relación a los nitratos (Tabla III.1.4.4.1), en todos los casos los valores se encuentran por debajo de los LMP según la NC 1021/2014, no siendo así para los nitritos (Tabla III.1.4.4.2), donde se puede observar en las caracterizaciones de los últimos 5 años, en la fuente Ruspoli, ubicada en la zona alta del sector hidrogeológico, valores por encima de los LMP en los años 2015; 2016 y 2018. En la zona centro se observa generalmente en los años 2015; 2016 y 2017, destacándose un valor extremo en la fuente de Ac. Biplanta en la localidad de Ciro Redondo y en la zona baja se observan valores por encima del LMP en las fuentes Km 35 y Patria III.

Con relación al amonio (Tabla III.1.4.4.3), la NC antes mencionada indica no presencia de este elemento, sin embargo, los resultados de las caracterizaciones muestran lo contrario en las fuentes Ruspoli 3 (años 2015 y 2016), en tres fuentes de la zona centro (Barrio Nuevo, Biplanta y el Micro) en los mismos años antes mencionados, así como en las cuatro fuentes de la zona baja del sector en el año 2017.

III.1.4.5 Degradación ambiental.

Para este indicador se tuvo en cuenta la evaluación del peligro de contaminación de las aguas subterráneas y las fuentes de abasto del sector hidrogeológico CA-I-5, como resultado de este mismo proyecto de investigación (Tabla III.1.3.2), donde se integraron el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas (Vidal et al, 2015), las zonas de protección sanitarias de las fuentes de abasto y el mapa de carga contaminante. (Tabla 1.4.5.1)

Tabla 1.4.5.1 Fuentes de abasto y Zonas de Protección Sanitaria. Peligro de contaminación en la zona de captura y zona de alimentación.

| Municipio | Fuente de abasto | Vulnerabilidad a la contaminación | Peligro de contaminación en la zona de captura | Peligro de contaminación en la zona de alimentación |
|----------------|------------------|-----------------------------------|--|---|
| Morón | Alevinaje | Alta | Moderado | Moderado |
| | Patria III | Alta | Moderada | Elevado |
| | Km 35 | Alta | Elevado | Elevado |
| | Calle 10 | Alta | Elevado | Elevado |
| Ciro Redondo | La Pradera | Alta | Elevado | Bajo |
| | Barrio Nuevo | Alta | Elevado | Elevado |
| | El Micro | Alta | Elevado | Elevado |
| | Fondo PCC | Alta | Elevado | Elevado |
| | Eucaliptos | Alta | Elevado | Elevado |
| | Manguito | Alta | Elevado | Bajo |
| | Biplanta | Alta | Elevado | Moderado |
| Ciego de Ávila | Ceballos | Alta | Elevado | Elevado |
| | Ruspoli | Alta | Elevado | Moderado |

III.1.4.6 Valoración de la Vulnerabilidad Ambiental.

Teniendo en cuenta los indicadores antes expuestos, se determina la vulnerabilidad ambiental para las fuentes de abasto del sector hidrogeológico CA-I-5. Los valores del 1-10 indican el impacto del indicador en la vulnerabilidad ambiental

Tabla III.1.4.6.1 Valoración de los indicadores de la disponibilidad de agua.

| Municipio | Fuente de abasto | Disponibilidad de agua | | | |
|----------------|------------------|------------------------|--|-------------------|-------|
| | | Recarga período húmedo | Disponibilidad del recurso (índice de fallo) | Peligro de sequía | Total |
| Morón | Alevinaje | 2 | 1 | 1 | 1.3 |
| | Patria III | 2 | 1 | 1 | 1.3 |
| | Km 35 | 2 | 1 | 1 | 1.3 |
| | Calle 10 | 2 | 1 | 1 | 1.3 |
| Ciro Redondo | La Pradera | 5 | 3 | 3 | 3.7 |
| | Barrio Nuevo | 5 | 3 | 3 | 3.7 |
| | El Micro | 5 | 3 | 3 | 3.7 |
| | Fondo PCC | 5 | 3 | 3 | 3.7 |
| | Eucaliptos | 5 | 3 | 3 | 3.7 |
| | Manguito | 5 | 3 | 3 | 3.7 |
| | Biplanta | 5 | 3 | 3 | 3.7 |
| Ciego de Ávila | Ceballos | 8 | 4 | 7 | 6.3 |
| | Ruspoli | 8 | 8 | 8 | 8.0 |

Con relación a la disponibilidad de agua las fuentes de abasto de la zona baja son menos vulnerables (baja) que las ubicadas en el centro y zona alta del sector. La fuente de abasto más vulnerable a la disponibilidad es Ruspoli.

Tabla III.1.4.6.2 Valoración de los indicadores de la calidad del agua

| Municipio | Fuente de abasto | Calidad de agua | | | | | | Total |
|----------------|------------------|-----------------|----|---------|---------|--------|-----------------------|-------|
| | | CCT | CT | Nitrato | Nitrito | Amonio | Intrusión salina (CL) | |
| Morón | Alevinaje | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 9 | 3.5 |
| | Patria III | 3 | 3 | 1 | 7 | 7 | 1 | 3.6 |
| | Km 35 | 3 | 3 | 1 | 4 | 4 | 1 | 2.6 |
| | Calle 10 | 5 | 5 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2.1 |
| Ciro Redondo | La Pradera | 3 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1.6 |
| | Barrio Nuevo | 3 | 3 | 1 | 3 | 4 | 1 | 2.5 |
| | El Micro | 3 | 3 | 1 | 8 | 4 | 1 | 3.3 |
| | Fondo PCC | 3 | 3 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1.8 |
| | Eucaliptos | 3 | 3 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1.8 |
| | Manguito | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1.5 |
| | Biplanta | 5 | 5 | 1 | 7 | 4 | 1 | 3.8 |
| Ciego de Ávila | Ceballos | 3 | 3 | 1 | 1 | 4 | 1 | 2.1 |
| | Ruspoli | 2 | 2 | 1 | 8 | 4 | 1 | 3.0 |

En cuanto a la calidad del agua, según las caracterizaciones de los últimos 5 años, en la mayoría de las fuentes se determinaron baja vulnerabilidad, solo se evaluaron en media, las fuentes de Alevinaje y Patria III en la zona baja y El Micro y Biplanta en la zona centro del sector.

Tabla III.1.4.6.3 Valoración de los indicadores de Degradación Ambiental y de la Vulnerabilidad Ambiental.

| Municipio | Fuente de abasto | Degradación ambiental | | | |
|----------------|------------------|--------------------------------------|----------------------|-------|--------------------------------|
| | | Índice de peligro a la contaminación | | Total | Total Vulnerabilidad Ambiental |
| | | Zona de captura | Zona de alimentación | | |
| Morón | Alevinaje | 3 | 3 | 3 | 3.18 |
| | Patria III | 3 | 7 | 5 | 3.27 |
| | Km 35 | 7 | 7 | 7 | 3.09 |
| | Calle 10 | 7 | 7 | 7 | 3.27 |
| Ciro Redondo | La Pradera | 7 | 3 | 5 | 5.27 |
| | Barrio Nuevo | 7 | 7 | 7 | 3.63 |
| | El Micro | 7 | 7 | 7 | 4.09 |
| | Fondo PCC | 7 | 7 | 7 | 3.27 |
| | Eucaliptos | 7 | 7 | 7 | 3.27 |
| | Manguito | 7 | 5 | 6 | 3.27 |
| | Biplanta | 7 | 5 | 6 | 4.18 |
| Ciego de Ávila | Ceballos | 9 | 7 | 8 | 4.36 |
| | Ruspoli | 8 | 7 | 7.5 | 5.18 |

Vulnerabilidad: **Baja** (0-3), **Media** (3.1-7) y **Alta** (7.1-10)

Con relación a la posible degradación ambiental solamente la fuente de abasto de Alevinaje se valoró en Baja y las de la zona alta (Ceballos y Ruspoli) Alta, mientras que se valoran de media vulnerabilidad el resto de las fuentes.

El total de la Vulnerabilidad ambiental se valora de media para todas las fuentes de abasto del sector hidrogeológico CA-I-5.

III.1.4.7 Incidencia del cambio climático en la disponibilidad de agua potable.

Tal y como refiere Planos et al. (2013), respecto a la línea base de los años 1961-1990, existe un incremento de 0.9° C para la temperatura superficial promedio del aire; un aumento de 1.9° C en la temperatura mínima promedio; una reducción significativa del rango diurno de la temperatura; una frecuencia mayor de sequías prolongadas y severas, sobre todo en el verano; un aumento de las grandes precipitaciones en invierno; y un reducción en 10 % de la precipitación anual.

La variación en el régimen de lluvia ha implicado una reducción progresiva de los recursos hídricos potenciales disponibles. La reducción de la disponibilidad potencial de agua se refleja fuertemente en la disminución del volumen de agua aprovechable, como consecuencia no solo de la reducción de la precipitación,

sino también por la elevación de la competencia por el agua existente entre los ecosistemas y la demanda humana.

Utilizando el Modelo Regional PRECIS, con una resolución entre 50 km² y 25 km², se representa el clima del futuro con un índice de concordancia alto en las proyecciones para la temperatura y la precipitación. Los escenarios climáticos considerados más probables para Cuba expresan que la temperatura promedio del aire puede aumentar entre 2,6° C y 4,5° C, y la precipitación anual podría disminuir entre 15 % y 60 % respecto a los valores actuales.

En uno de los escenarios climáticos más favorables con relación al agua, su disponibilidad potencial en 2100 podría reducirse a 24 km³, o sea, 37 % menos si se le compara con la línea base 1961-1990.

III.1.4.7.1 Impactos en la disponibilidad de agua

- En los escenarios futuros del agua, el sector de los recursos hídricos será uno de los más severamente afectados, lo que tendrá una implicación muy grande en otros recursos y sectores (actividad agropecuaria, industrial)
- Se verá afectada la diversidad biológica, así como el funcionamiento y el equilibrio de los ecosistemas
- El acrecentamiento de la salinidad del mar por la disminución del escurrimiento de agua dulce hacia la plataforma y el retroceso de la línea de costa
- La agricultura se desarrollará en un ambiente afectado por el aumento de la frecuencia y la intensidad de las sequías, la agilización del clima, la disminución de la evapotranspiración real de los ecosistemas y un déficit hídrico pronunciado.
- La población sufrirá el impacto total del cambio climático, con lo cual disminuirá su calidad de vida y aumentará el riesgo ante determinadas enfermedades.
- Incremento del riesgo de desastres de origen hidrometeorológicos (lluvias torrenciales, sequías extremas, huracanes)

Conclusiones parciales

- Los indicadores de disponibilidad de agua se valoran en las 4 fuentes de la zona baja con baja vulnerabilidad, la fuente Ruspoli se valora de alta vulnerabilidad y el resto de media
- Los indicadores de calidad de agua, según los resultados de la caracterización en los últimos 5 años, se evalúan de baja vulnerabilidad en el 70 % de las fuentes estudiadas, en el resto de media.
- Para los indicadores de degradación ambiental se evalúan de alta vulnerabilidad las fuentes de Ruspoli y Ceballos, el resto de media y baja en una sola fuente Alevinaje)
- La mayor incidencia del cambio climático en el sector CA-I-5 sobre la disponibilidad de agua en las fuentes de abasto se refiere a la reducción

en el volumen de recarga del acuífero, por lo que se recomienda la reevaluación hidrogeológica del sector.

- La afectación a los efectos del cambio climático en el sector CA-I-5 se apreciarán con más frecuencia en la zona alta del sector, donde se encuentran las fuentes de abasto de Ruspoli y que ya han presentado síntomas de agotamiento por sequía hidrológica.

III.2 Propuesta y evaluación alternativa de un sistema de tratamiento de residuales (humedal artificial)

III.2.1 Resultados de la evaluación del sistema de tratamiento de residuales del CIBA.

Durante el diagnóstico del funcionamiento del sistema de tratamiento anaerobio del CIBA, consistente en biodigestor de cúpula fija de 54 m³ de volumen operacional, se determinó que el consumo de agua para la limpieza de las naves porcinas durante el período de evaluación tuvo un valor promedio de 5.8 m³/d lo que equivale a 36 l/d/animal. Estos valores exceden a los descritos en el Manual de Procedimientos para la Crianza Porcina en Cuba publicado en el 2015, donde se plantea que el valor máximo de gasto de agua para limpieza del piso de los corrales no deberá exceder los 12 l/d/ animal. Se hace un uso desmedido del agua utilizando tres veces el volumen propuesto para esta actividad, no mostrando una concepción de ahorro o tecnología limpia. Criterios similares demuestran que haciendo un raspado mecánico previo a la limpieza se reduce considerablemente el consumo de agua para realizar esta actividad IIP, (2015).

Teniendo los resultados de las caracterizaciones químico-físicas y microbiológicas del residual porcino realizadas por el laboratorio de la empresa de Servicios Técnicos de Recursos Hidráulicos (ENAST) Ciego de Ávila, se evaluó la eficiencia del biodigestor.

Tabla III.2.1.1 Resultados de caracterización del Biodigestor

| Parámetro | Entr Biodig | Sal Biodig | NC 27/ 2012 |
|-------------|-------------|------------|-------------|
| CE (µS/cm) | 6574 | 3700 | 1500 |
| pH | 7 | 8 | 6 a 9 |
| PT (mg/l) | 23 | 11 | 5 |
| SS (ml/l) | 20 | 14 | 1 |
| DQO (mg/l) | 1809 | 555 | 90 |
| DBO5 (mg/l) | 355 | 111 | 40 |
| CT | | | |
| (NPM/100ml) | 8898174 | 495324 | 1000 |
| CTT | | | |
| (NPM/100ml) | 1779635 | 99065 | 200 |

Como se puede apreciar en la Tabla III.2.1.1 los valores de pH tanto a la entrada como a la salida del sistema tienden a la alcalinidad, coincidiendo con los reportes de Hidalgo *et al.* (2003) y Jiménez *et al.* (2014) para efluentes de residuales porcinos luego de tratamiento por digestión anaerobia y cumple con lo establecido en la NC 27/ 2012.

Durante el período de muestreo la temperatura osciló entre 250 y 270 C, característica de zonas tropicales y que favorece el crecimiento de las bacterias que participan en el proceso de biodigestión anaerobia. Por lo que puede considerarse una digestión anaerobia en rango mesofílico.

Con respecto a la conductividad eléctrica, los valores superan los límites establecidos en la NC 27/ 2012 y los sólidos sedimentables en la segunda y la tercera evaluación tienen valores que también superan los permitidos en dicha norma, por lo que se puede deducir que aún persisten sales y nutrientes en el efluente, alcanzándose una remoción de hasta el 37.8% después de pasar por el biodigestor según Tiempo de retención (TR) de diseño, resultando inferior a los resultados descritos para este parámetro en los sistemas de tratamientos anaerobios. Este comportamiento es característico de aguas con alto contenido de sales tal y como plantean Villegas y Guerrero, (2007), lo que puede resultar de la base alimentaria que están recibiendo en el período evaluado.

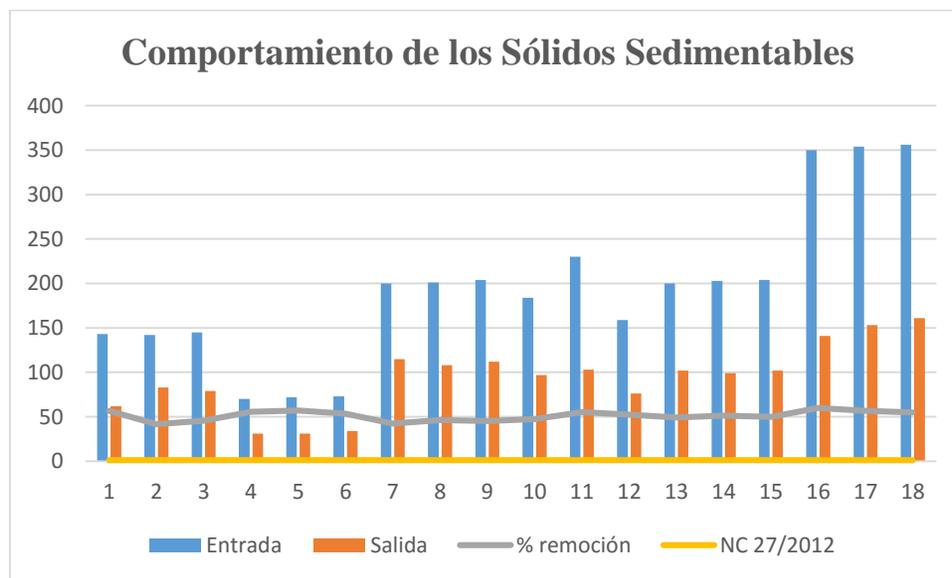


Figura III.2.1.1. Comportamiento de los Sólidos Sedimentables en el sistema de tratamiento por digestión anaerobia de los residuales porcinos del CIBA.

Como se observa en la Figura III.2.1.1, los sólidos sedimentables en el afluente están por encima de los límites permitidos por la norma NC 27/ 2012 (1 mg/l), los valores obtenidos en el efluente oscilan entre 70 y 156 mg/l. Estos resultados fueron superiores a los reportados por Jiménez *et al.* (2014), lo que denota la existencia de variación e inestabilidad. En los efluentes también se registran

valores superiores 40 y 160 mg/l. No obstante, puede percibirse la reducción de los tenores de este parámetro, lográndose una remoción de entre 41.5% y 59.7%.

Es significativo que el biodigestor diseñado no cuenta con sistemas de agitación o incremento de contacto entre bacterias y sólidos a degradar, limitando la capacidad de mineralizar los componentes orgánicos y estando presente los procesos de sedimentación dentro del propio digestor, lo que permite incrementar el Tiempo de Retención de Sólidos (TRS) y su deposición en este reactor. Esto favorecerá la remoción de compuestos orgánicos.

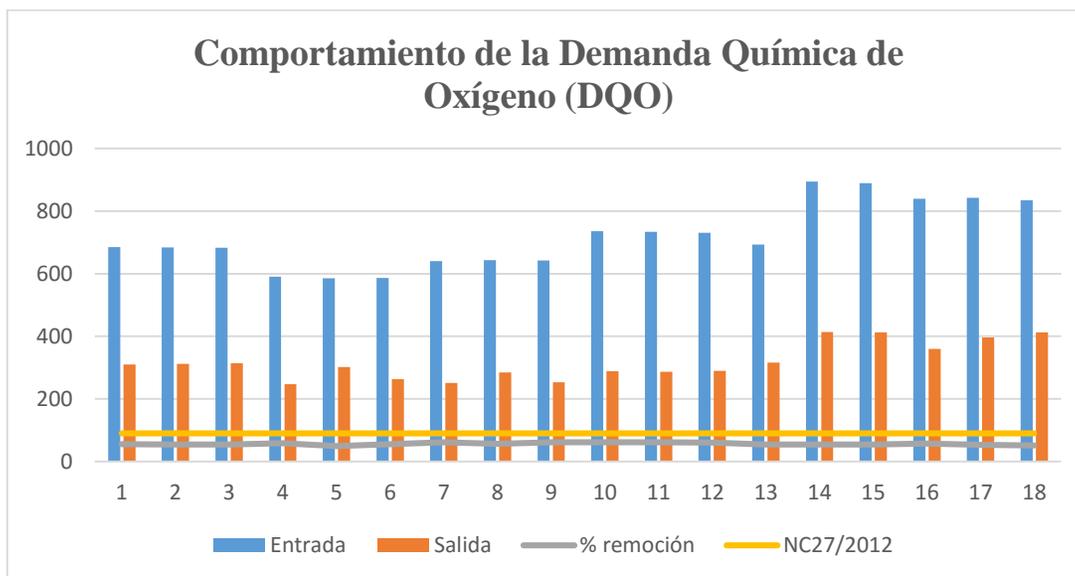


Figura III.2.1.2. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el sistema de tratamiento por digestión anaerobia de residuales porcinos del CIBA.

En la Figura III.2.1.2 se observa buena remoción durante el período evaluado obteniéndose valores de hasta 61% lo que sugiere que poseen un alto contenido de materia orgánica susceptible a oxidarse. Los valores finales después del tratamiento por 30 días, están en promedio en 317.2 mg DQO/ml. Al comparar los valores de DQO a la entrada y salida del sistema son superiores a los permitidos en la norma (NC 27/ 2012), por lo que se hace necesario otro tratamiento para que puedan ser vertidos directamente al suelo o cuerpos de agua receptores. Se observan diferencias estadísticamente significativas entre las entradas y salidas de cada una de las muestras con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ (Anexo 9).

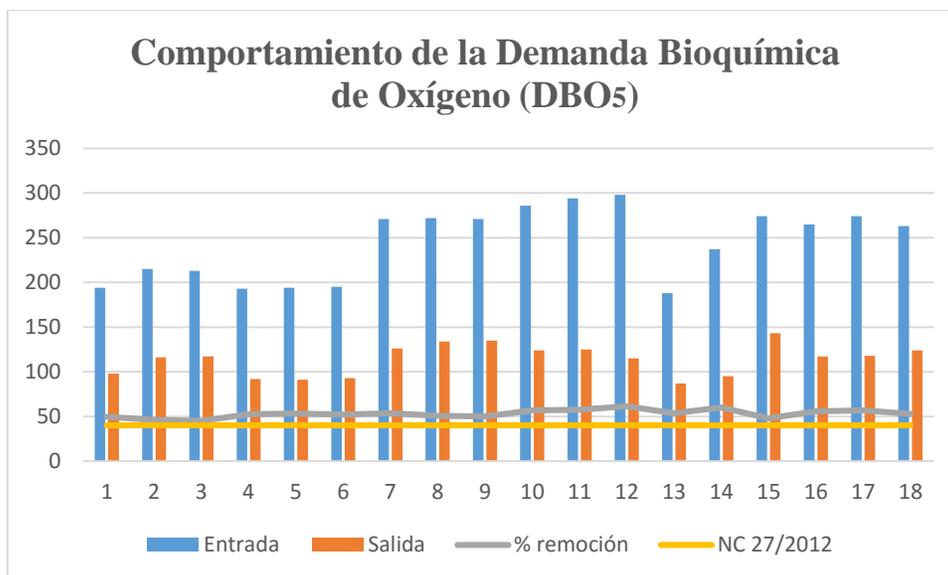


Figura III.2.1.3 Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en el sistema de tratamiento por digestión anaerobia de residuales porcinos del CIBA.

Los valores de DBO₅ superan los límites máximos permitidos en la norma (NC 27/ 2012), esto se preveía teniendo en cuenta que la DBO₅ constituye la fracción de la contaminación orgánica como DQO que puede ser degradada por la acción microbiana. Por lo que si la DQO no cumple la normativa de vertimiento, es improbable que la DBO₅ sí. Esto confirma las características del efluente como inadecuados para su vertido final, requiriendo un tratamiento secundario que favorezca no sólo la actividad de microorganismos anaerobios propios de la microflora del biodigestor (Figura III.2.1.3).

Los valores de remoción son inferiores a los reportados en las investigaciones de Alonso, (2014) y Francesena, (2016), quienes refieren que la oxidación bioquímica de la materia orgánica es un proceso lento, y teóricamente tarda un tiempo infinito para completarse. Sin embargo, después de un período aproximado de 20 días, la oxidación se ha completado entre 95 y 98%, y en 5 días la DBO se ha ejercido en un 60 – 70%. Los valores de remoción en el sistema de tratamiento del CIBA oscila entre 45% y 60 %. La causa puede estar en el diseño operacional sobredimensionado en volumen que reduce el contacto microorganismo-materia orgánica, entre otras causales. Se observan diferencias estadísticamente significativas entre las entradas y salidas de cada una de las muestras con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ (Anexo 10).

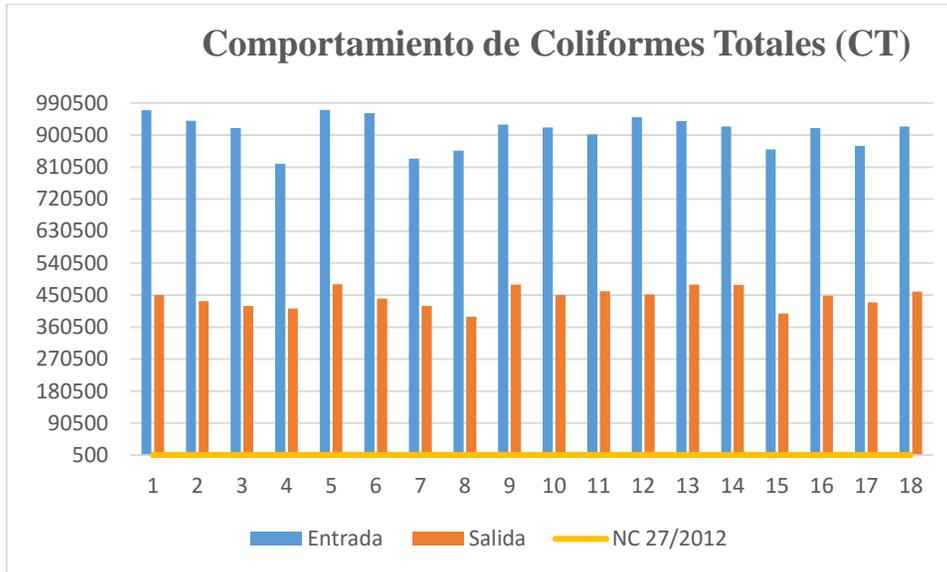


Figura III.2.1.4. Comportamiento de los Coliformes Totales en el sistema de tratamiento por digestión anaerobia de residuales porcinos del CIBA.

Al analizar el comportamiento de los coliformes totales representados en gráfico 2.1.4, se observa que durante el período de muestreo los valores son superiores a los límites máximos establecidos en la norma (NC 27/ 2012), por lo que se considera que los efluentes todavía no pueden ser vertidos al suelo o utilizarlos en el fertirriego de cultivos. Así mismo, el mayor valor de remoción fue de 54.4% y se alcanzó en la muestra 8. En el resto de las muestras la remoción se comporta similar, las muestras 9, 11, 13 y 14 se obtuvieron valores inferiores (48.1 %, 48.8 %, 48.9 % y 48.2 % respectivamente). Este resultado indica que el biodigestor no es eficiente y se requiere un tratamiento complementario, en particular de índole biológico, Jiménez *et al.*, (2014) y Valdés *et al.*, (2008). Se observan diferencias estadísticas significativas entre las entradas y salidas de cada una de las muestras con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ (Anexo 11).

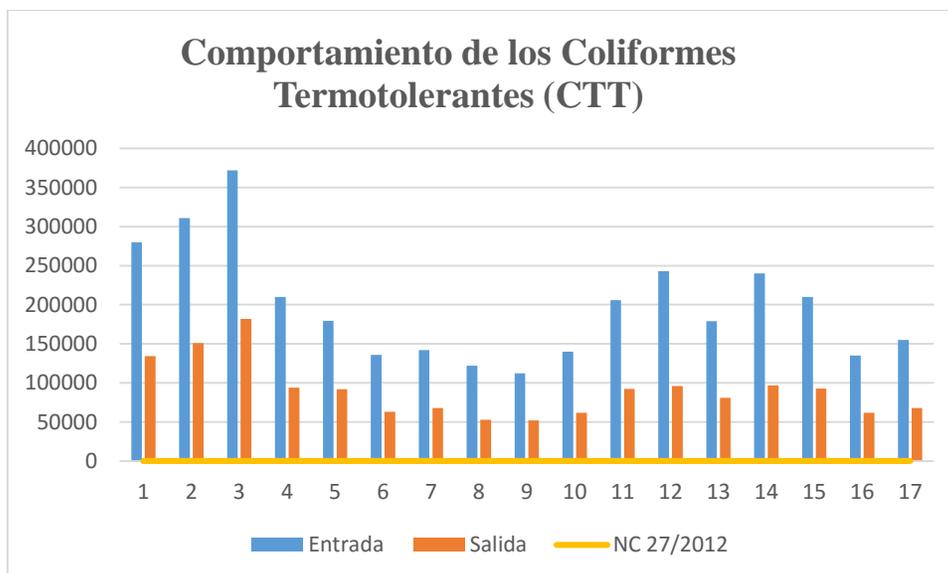


Figura III.2.1.5. Comportamiento de los Coliformes Termotolerantes en el sistema de tratamiento por digestión anaerobia de residuales porcinos del CIBA.

Analizando el comportamiento de los Coliformes Termotolerantes representados en la Figura III.2.1.5, se observa que los valores superan el límite máximo establecido en la norma cubana 27/ 2012, se considera que los efluentes del sistema no pueden verse todavía al suelo o ser utilizados para el fertirriego de cultivos. El mayor valor de remoción fue de 60.4% siendo el menor valor de remoción de 48.8%. Se demuestra que el biodigestor no es eficiente y se requiere un tratamiento complementario, en particular de índole biológico Jiménez *et al.*, (2014) y Valdés *et al.*, (2008). Se observan diferencias estadísticas significativas entre las entradas y salidas de cada una de las muestras con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ (Anexo 12).

A partir de los cálculos anteriores en relación al tamaño óptimo del biodigestor con respecto a la cantidad de animales, se demuestra que el sistema empleado no es eficiente por lo que requiere de un tratamiento complementario que remueva y establezca las características del efluente en cuestión.

III.2.2 Análisis del funcionamiento del humedal artificial como tratamiento terciario de las aguas residuales porcinas en el CIBA

Teniendo en cuenta la influencia que ejerce la macrófita utilizada en la fitorremediación de los efluentes porcinos, así como su capacidad para establecerse y crecer en aguas contaminadas, se realizó una descripción detallada de las principales características morfológicas de las plantas utilizadas.

La especie *Eleocharis interstincta* o comúnmente conocida por junquillo o junco de río pertenece a la familia botánica Cyperaceae.

Etimología

Eleocharis: nombre genérico que deriva del griego heleos o helos = "un pantano" y charis = "gracia, la belleza," por lo tanto "la gracia del pantano", en alusión a un hábitat de campo inundado.

Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Cyperaceae

Género: *Eleocharis*

Especie: *Eleocharis interstincta*

Nombres vulgares: se le reconoce como junco y en algunas zonas también se denomina junquillo o junco de río.

Distribución

El género *Eleocharis* posee aproximadamente 250 especies, fundamentalmente acuáticas y anfibias, distribuidas en las regiones tropicales y polares del mundo, con una gran concentración en América que abarca las lagunas, lagos, márgenes de ríos y pantanos de Estados Unidos, México, Bermudas, Bahamas, Cuba, Haití, Jamaica, Las Antillas, Belice, Nicaragua, Guatemala, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Trinidad y Tobago, Guyana, Suriname, Brasil, Ecuador, Bolivia, Perú y Paraguay. En África puede encontrarse en Sudáfrica, Bragança y Petean, (2004).

Características morfológicas

Son hidrófitas, emergentes y algunas especies son sumergidas. Sus hojas se han reducido alrededor de la base de los tallos en los que se realiza la fotosíntesis. Son anuales o perennes, con culmos simples. Las hojas están reducidas a vainas en la base del culmo. Son hermafroditas, con una inflorescencia en forma de espiguilla solitaria, terminal, sin brácteas, escamas glabras; perianto reducido a cerdas o a veces ausente; estambres de 1-3; estilo bifido o trifido, con la base dilatada y persistente sobre el aquenio formando un tubérculo. Aquenio biconvexo o de sección triangular, en ocasiones muy obtusamente, apareciendo plano convexo o de sección circular.

Bragança y Petean (2004) describen el género, como hierbas erectas, cespitosas, rizomatosas o estoloníferas. Los tallos pueden ser cilíndricos o triangulares, de facas cóncavas o convexas, con septas transversales evidentes, poco evidentes o ausentes, regular o irregularmente septados-nudosos, lisos o longitudinalmente estriados.

Según los propios autores, la descripción de la especie *Eleocharis interstincta* fue realizada por (Vahl) Roemer y Schultes, (1817). Anteriormente descrita como

Scirpus interstinctus por Vahl en 1805. Miden aproximadamente 300- 950 x 4-8 mm en la base del culmo. Culmos cilíndricos con septos transversales, sin nódulos, lisos. Vainas membranáceas, castaño- abermelladas, de 160-280 mm de longitud sin apéndice hialino en el ápice, ápice oblicuo, acuminado, espigas cilíndricas, de 15-40 por 4-6 mm, subagudas, amarillas, con glumas de 37- 265 mm. Glumas encadenadas, caducas, membranáceas, pardas y en las puntas se observa de castaño, obovadas u ovaladas, de ápice obtuso, nervaduras longitudinales prominentes de 4,5 a 5 x 3,5 a 4 mm. De las glumas inferiores, la más externa englobando toda la base de la espiga, continúa con el culmo, puede ser estéril y a veces fértil, de 3,5- 5 mm de diámetro. La más interna se ubica opuesta a la externa, articulada con el culmo, fértil, de 5,5 a 7 por 3,5 a 4,5 mm. Son persistentes, el color varía de verde amarillenta a verde pálido, márgenes hialinos, con ápice obtuso. Tiene 6 cerdas perigonales de color pardo de 3- 3,5 mm de longitud. Estambres 3, hollones hialinos, 6- 6,5 mm de longitud, anteras de 3 mm de longitud. Estigma (2) trífido, 7- 8 mm de longitud. Acuáticos amarillentos, a veces con manchas castañas, obovóides, 1,5-2 x 1-1,2mm, lenticulares, superficie con fosas finas de células rectangulares, ápice con un cuello donde se inserta la base del estilete; base del estilete amarillo a marrón, cónico, 1mm de longitud.

La inclusión de un humedal artificial para tratar los efluentes del biodigestor mejora su calidad físico química y microbiológica. Para la evaluación de remoción de contaminantes en el sistema de tratamiento de los residuales porcinos durante el período evaluado, se tiene en cuenta los porcentajes acumulados anteriormente en el tratamiento anaerobio. Por tanto, los valores iniciales del afluente son de 4650 CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el pH osciló de 7.2 y 8.4, los valores de SS fueron de 161mg/L, 413 de DQO mg/L, 135 de DBO_5 mg/L, el PT fue de 135 mg/L, los valores de coliformes totales y termotolerantes oscilaron entre 4.8×10^5 y 1.3×10^5 respectivamente.

Los porcentajes de remoción de contaminantes obtenidos en el sistema de tratamiento por humedales artificiales durante el período de evaluación fueron los siguientes:

Los parámetros que reflejan menores porcentos de remoción son la Conductividad eléctrica (CE) con valores que oscilan entre 56 y 71.6 %, lo cual puede estar relacionado con sólidos en suspensión de menor tamaño de partículas.

En la Tabla III.2.2.1 se muestran los valores de remoción en cuanto a la conductividad eléctrica (CE) obteniéndose hasta un 71% de remoción con tres días de TRH, pero aún no se cumplen los límites establecidos por la NC 27/2012, lo que demuestra que se debe extender el TRH con el propósito de disminuir los valores para disponerlos al medio. Se observan diferencias entre las medias de los TRH y el control ($p < 0.001$) y a su vez existe interacción entre ellos (Anexo 13).

Tabla III.2.2.1. Remoción de la CE en el humedal artificial a diferentes TRH.

| Parámetros (%) | Control | TRH 1 | TRH 2 | TRH 3 |
|-------------------------|---------|-------|-------|-------|
| CE ($\mu\text{S/cm}$) | 56.16 | 60.59 | 65.95 | 71.69 |

El pH tiende ligeramente a la basicidad lo que confirma los reportes de Zetina *et al.*, (2013) y Valderrama *et al.* (2003), quien refiere que el pH responde al uso del CO_2 durante la fotosíntesis, fijándose en compuestos aminados precursores de proteínas u otras estructuras orgánicas. De esa manera durante el día la absorción de CO_2 realizada por las plantas eleva de manera considerable el pH y en la noche disminuyen su valor por la liberación del mismo durante los procesos respiratorios. Estadísticamente no se encontró interacción entre los puntos de muestreo (TRH 1, 2, 3, control y entrada al biodigestor) con respecto a cada una de las caracterizaciones realizadas al agua residual porcina. Solo se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los valores de las medias de los TRH y el control, siendo el TRH 3 el que mejor se comportó (Anexo 14).

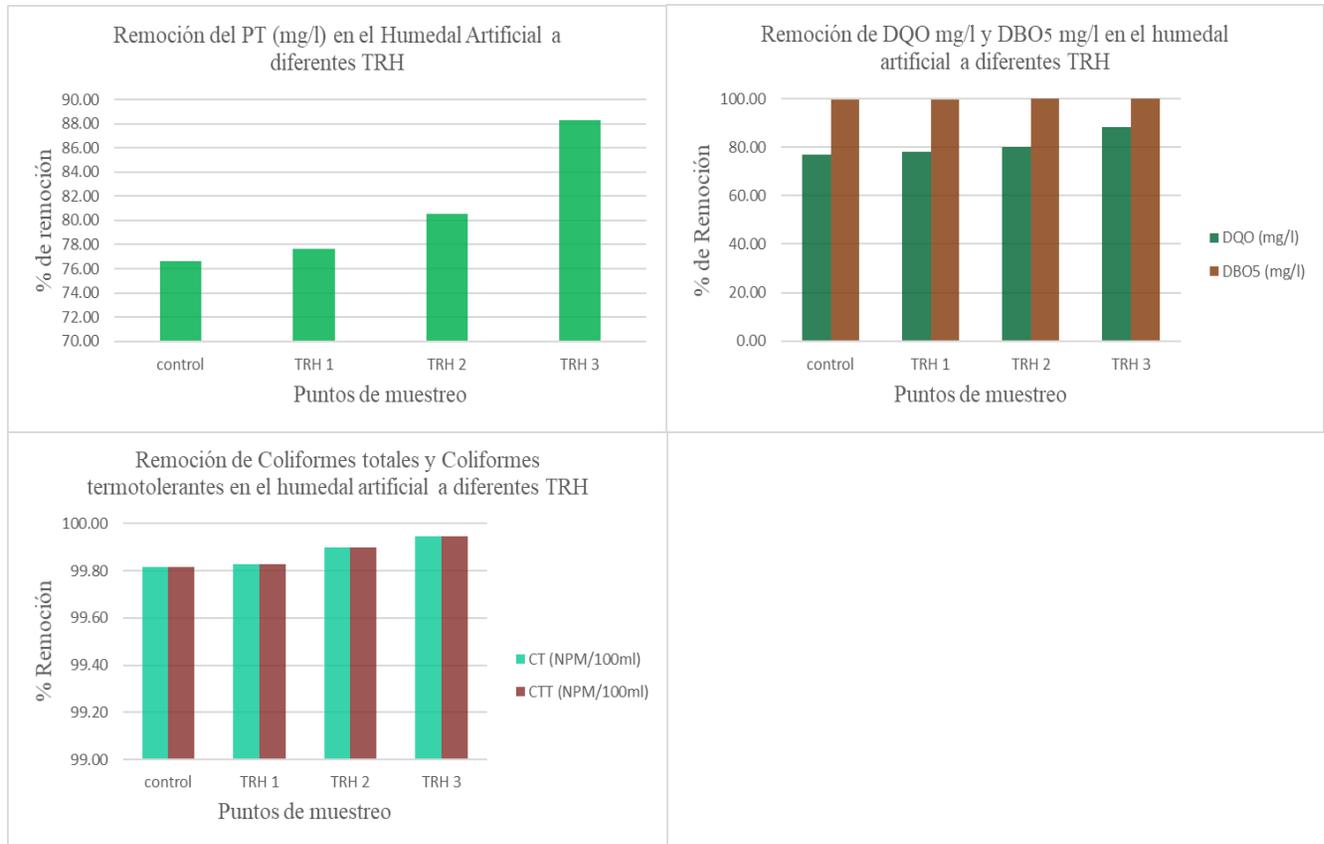


Figura III.2.2.1 Comportamiento del humedal artificial a diferentes Tiempos de Retención Hidráulica (TRH) para la remoción de parámetros físico- químicos y microbiológicos.

En la Figura III.2.2.1 se muestran los resultados obtenidos del análisis al agua de salida de cada una de las unidades muestreadas. Se observa una importante

remoción de los principales parámetros físico- químicos y microbiológicos analizados, obteniéndose los mayores porcentajes de remoción en el tratamiento TRH 3 con la especie *Eleocharis interstincta*.

El fósforo total (PT) varía de 76.6 % hasta el 88.2 %. En este sistema los resultados demuestran que el humedal es eficiente en la remoción de dicho parámetro.

Sin embargo, Lara, (1999) y Estrada, (2010) plantean que los humedales artificiales de tipo sub- superficial como es el caso del evaluado en este trabajo, son poco eficientes en la remoción de fósforo por las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el sustrato. Por lo que se requerirán mayores extensiones de tierra ya que los mecanismos principales para la remoción de fósforo son la captación por parte de la planta y la retención en el terreno lo que hace que los tiempos de retención hidráulica deban aumentar. No se encontró interacción entre los diferentes TRH (1, 2, 3) y el resto de los puntos de muestreo con respecto a las caracterizaciones realizadas al agua residual porcina. Solo se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los valores de las medias de los diferentes TRH, siendo el TRH 3 con presencia de *Eleocharis* el que presentó mejor comportamiento (Anexo 15).

El análisis estadístico de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) demostró que existe interacción ($p = 0.003$) entre las medias de los diferentes TRH y el resto de los puntos de muestreo con respecto a cada una de las caracterizaciones realizadas durante el período de evaluación del agua residual porcina generada en el CIBA. Estadísticamente la especie *Eleocharis interstincta* mostró a los 3 días de TRH el mejor comportamiento en cuanto a la remoción de DQO, llegando a ser de 204 mg/l (Anexo 16).

Los mayores porcentajes de remoción se corresponden con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Coliformes Totales (CT) y Coliformes Termotolerantes (CTT) con valores de más de 99% respectivamente. Similares resultados fueron obtenidos por Estrada, (2010) quien refiere que los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de DBO_5 , SS y patógenos, lo que puede estar dado en el caso de la DBO_5 porque la materia orgánica sedimentable es descompuesta principalmente de forma aerobia al entrar en contacto con los rizomas de las plantas y los microorganismos que forman parte de la biopelícula que se forma entre el sustrato y dichos rizomas. No se encontró interacción entre los TRH 1, 2 y 3, el resto de los puntos de muestreo con respecto a las caracterizaciones realizadas al agua residual porcina, aunque si se observaron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las medias de los valores de los TRH y el control, siendo el TRH 3 el que mejor comportamiento presentó en cuanto a la remoción de DBO_5 (Anexo 17).

Para la alta efectividad en la eliminación de CT y CTT dichos autores plantean que los humedales artificiales son capaces de remover de una a dos unidades logarítmicas con TRH de tres a siete días. Para alcanzar reducciones de hasta 4 logaritmos el THR debe ser superiores a los 14 días.

Se destaca que, en el sistema experimental, se remueve casi la totalidad de los coliformes a los tres días de TRH para un agua residual porcina tratada por un proceso de biodigestión en la que aún persistían estos patógenos. No se encontró interacción entre los TRH (1, 2, 3) y el resto de los puntos de muestreo con respecto a cada una de las caracterizaciones realizadas durante el período de evaluación del agua residual porcina generada en el CIBA. Solo se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las medias de los valores de los TRH, siendo el TRH 3 el que mejor se comportó en relación a la remoción de CT y CTT (Anexos 18 y 19).

Los coliformes termotolerantes son indicadores de contaminación fecal, condición que limita la disposición final a cuerpo receptor de tipo A o reuso de los efluentes. Por ello, se analizó la *Escherichia coli*. Se observa una remoción de más del 99% en todos los TRH y el control coincidiendo con Valderrama *et al.* (2003) quien plantea que existe correlación entre los CTT y *E. coli*. Al igual que en el análisis estadístico de CTT no hubo interacción entre los TRH el resto de los puntos de muestreo. Solo se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las medias de los valores de los TRH, siendo el TRH 3 el que mostró mejor comportamiento (Anexo 20).

El resto de los tratamientos con presencia de *Eleocharis* también muestran altos niveles de remoción con respecto al control siendo el TRH 2 (DQO de 80.12%, DBO₅ de 99% y coliformes totales y termotolerantes de 99.9%) el de mejor comportamiento seguido del TRH 1. Se confirma que la presencia de la especie *Eleocharis interstincta* aumenta la remoción de carga contaminante expresada en términos de DQO, DBO₅ y coliformes.

A partir del establecimiento uniforme de la especie vegetal sembrada en cada una de las unidades experimentales que forman el humedal artificial se procedió al conteo de los tallos, la medición longitudinal de los nuevos brotes, aparición de los hijos y su respectivo crecimiento con una frecuencia semanal que culminó con el fin del período de muestreo al residual porcino.

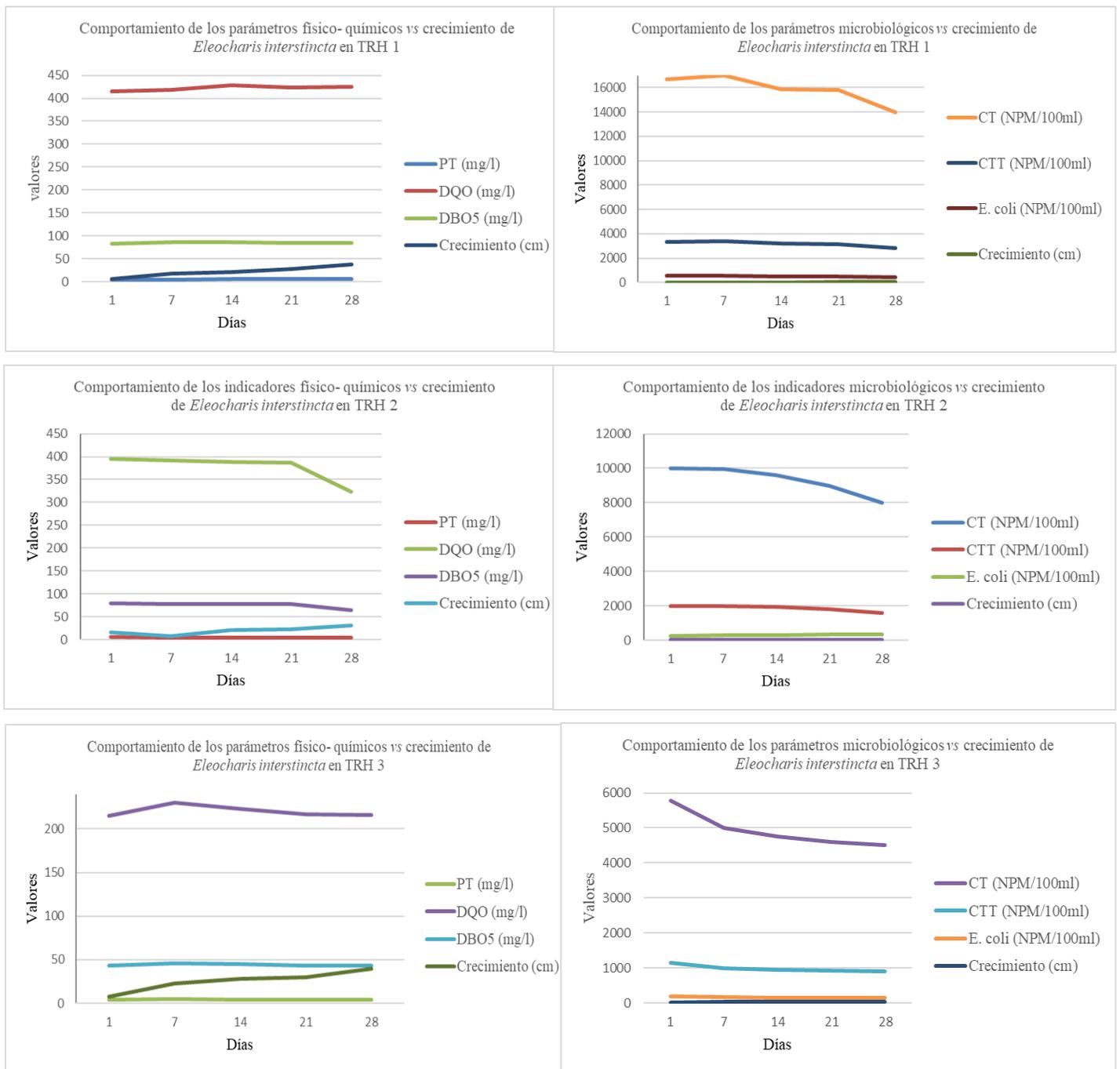


Figura III.2.2.2. Relación entre los parámetros físico- químicos, microbiológicos y crecimiento de *Eleocharis interstincta* de 1ª 3 días de Retención Hidráulica.

En la relación del crecimiento de la planta con los parámetros físico químicos y microbiológicos del residual (Figura III.2.2.2), se puede apreciar como a medida que la macrófita *Eleocharis* aumenta su crecimiento disminuye gradualmente la concentración de los parámetros físico- químicos y microbiológicos analizados. Por tanto, existe una relación inversamente proporcional entre estos aspectos.

Dicho comportamiento varía en dependencia del TRH establecido y cada medición de crecimiento realizada, siendo el TRH 1 el que menor remoción tuvo y el TRH 3 el que mejor se comportó. Los mayores niveles de remoción de estos parámetros se observan en el día 28.

Investigaciones referidas al tema obtienen resultados similares. Tal es el caso de Garzón y Buelna, (2014) quienes concluyen que para poder llevar el tratamiento de las aguas residuales de granjas porcinas a los niveles que se requieren para su adecuada descarga a cuerpos de agua receptores se requiere de un post-tratamiento aerobio, adecuado para reducir la concentración de nitrógeno, materia orgánica, Sólidos Sedimentables Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF), Hidalgo *et al.* (2005), reconocen que con la utilización de la macrófita *Eleocharis* sp. se obtiene eficiencia de remoción de hasta el 97% de sólidos solubles y de 60 a 85% de DQO cuando se utilizó junto a *Typha* sp. en un sistema de depuración de aguas residuales asociado con un reactor anaerobio.

La planta satisface sus requerimientos nutricionales a partir de la absorción de nutrientes del agua residual degradándolos a formas más simples y mientras mayor sea el TRH se obtendrán mayores remociones de contaminantes.

En el tiempo de retención 3 se hace más evidente la disminución de las concentraciones de materia orgánica alcanzándose al día 28 una reducción de CE de 1916 a 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los CT también disminuyen de 5.7×10^3 a 4.5×10^3 .

Estos valores confirman que mientras mayor sea el tiempo de retención mayor será el porcentaje de remoción alcanzado.

Para hacer más evidente el papel de la especie vegetal seleccionada para sembrar en el humedal artificial y reducir la carga contaminante de los efluentes del biodigestor, se grafica cada uno de los parámetros que inciden directamente en la calidad de un agua residual para su disposición final a TRH 3 por ser donde se obtuvieron los mejores resultados.

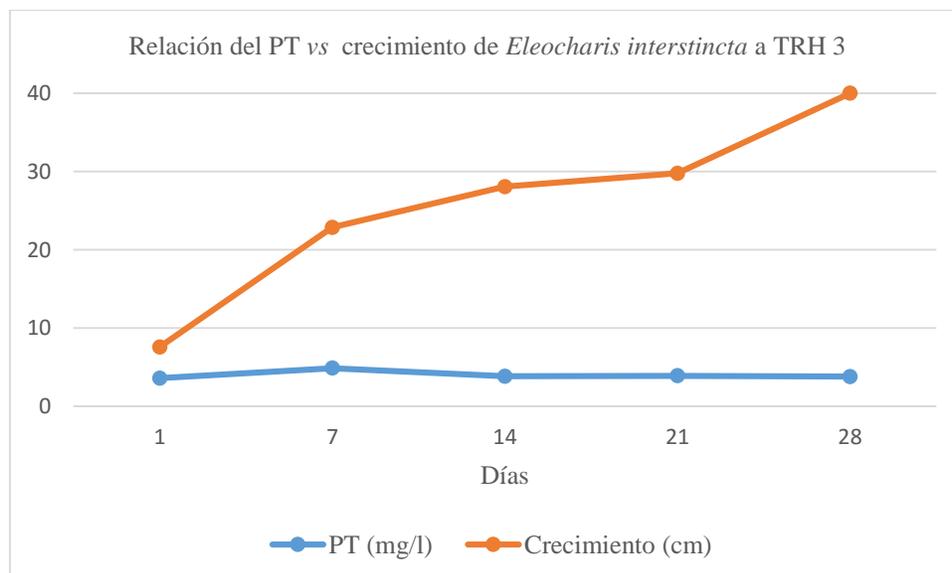


Figura III.2.2.3. Relación entre el Fósforo total (FT) y el crecimiento de *Eleocharis interstincta*.

El fósforo manifestó variación, aunque muy poca coincidiendo con Estrada, (2010) quien refiere que la eliminación de fósforo está limitada por la poca oportunidad de contacto entre el agua residual y el sustrato por lo que para que haya una remoción considerable de este parámetro debe aumentar el TRH, así como la extensión de tierra (Figura III.2.2.3).

Romero *et al.* (2009) plantea que en un humedal artificial que trata aguas residuales municipales y con un TRH de 5 días el fósforo puede ser absorbido por las plantas en diferentes formas iónicas y se integrará al metabolismo a partir del proceso de fotosíntesis, razón por la cual disminuye su concentración en el agua a su paso por los humedales. Además, puede ser aprovechado por los microorganismos o fijado en el sustrato. Esto sugiere que los humedales, bajo las condiciones experimentales de este trabajo, no constituyeron un método efectivo para la eliminación de fósforo.

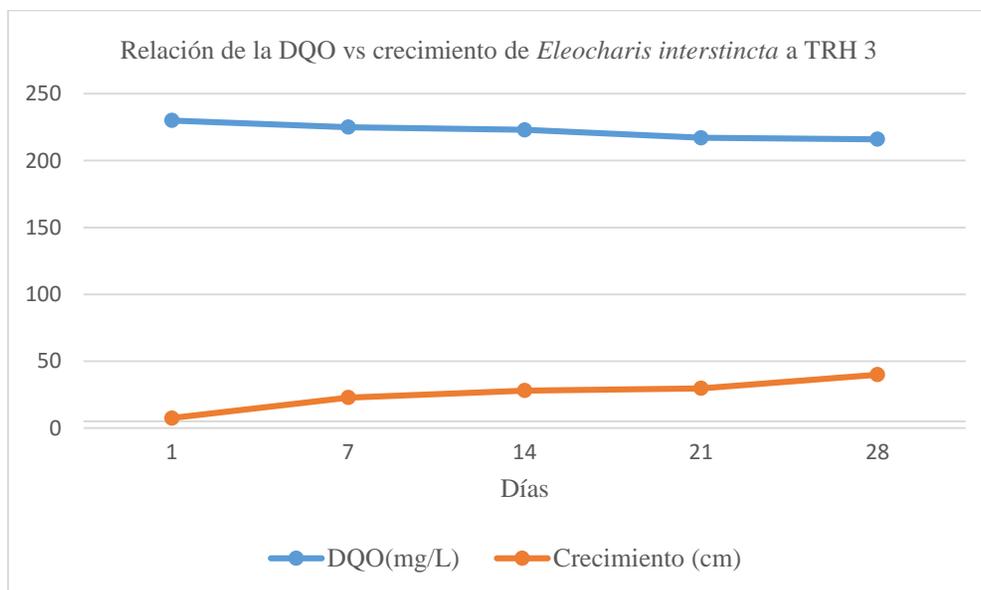


Figura III.2.2.4. Relación entre la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el crecimiento de *Eleocharis interstincta*.

Se observa en la Figura III.2.2.4 la estrecha relación entre la reducción de DQO y el crecimiento de tallos y nuevos brotes de la planta confirmando que las mismas juegan un papel importante dentro del humedal artificial. Esto puede deberse a la ocurrencia de los mecanismos de respiración aerobia de las plantas, así como la respiración anaerobia facultativa y anaerobia estricta de los microorganismos que viven en la rizósfera coincidiendo con los resultados de Valderrama, (1996) quien plantea que con el uso de las macrófitas *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* se incrementa la remoción de DQO pues la masa radicular actúa como filtro que atrapa las partículas suspendidas en el agua.

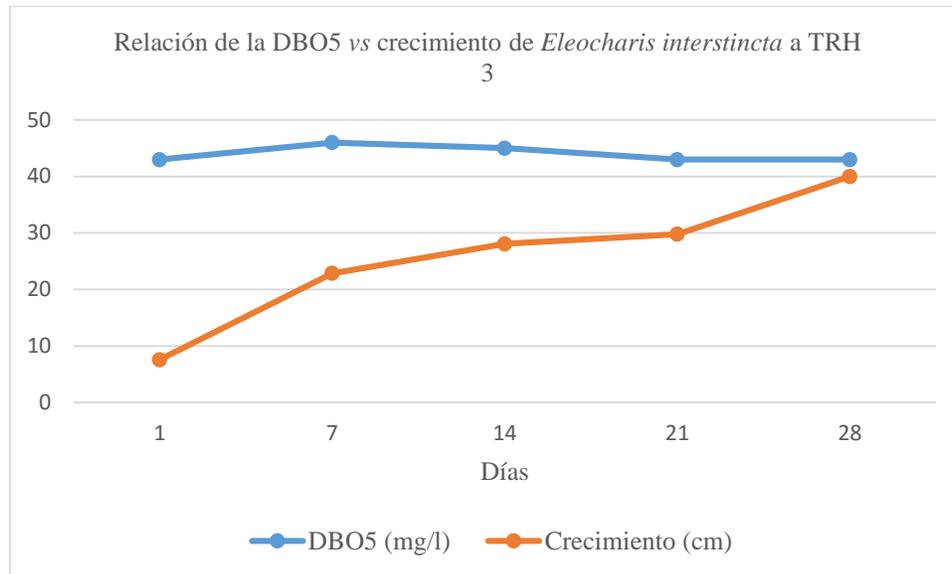


Figura III.2.2.5. Relación entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y el crecimiento de *Eleocharis interstincta*.

En la Figura III.2.2.5, se aprecia una estrecha relación entre la reducción de la DBO₅ y el crecimiento de la planta sembrada en el humedal artificial. Esto confirma que las plantas y los microorganismos que crecen en la rizósfera son los elementos fundamentales que influyen directamente en la remoción de este parámetro. Coincidiendo con Valderrama, (1996), quien plantea que con el crecimiento de las plantas se cubre la superficie y se reduce la turbulencia favoreciendo la sedimentación de las partículas suspendidas. Por tanto, mientras mayor crecimiento tenga la planta, mayor superficie ocupa. Rodríguez et al, (2010) obtiene un alto valor en la remoción de DBO₅ con la especie *Eichhornia crassipes* y le atribuye la disminución de la concentración de este parámetro a los microorganismos asociados a la zona radicular y la eficiencia en su disminución está directamente relacionado con la densidad, cobertura y profundidad de estas especies en el agua.

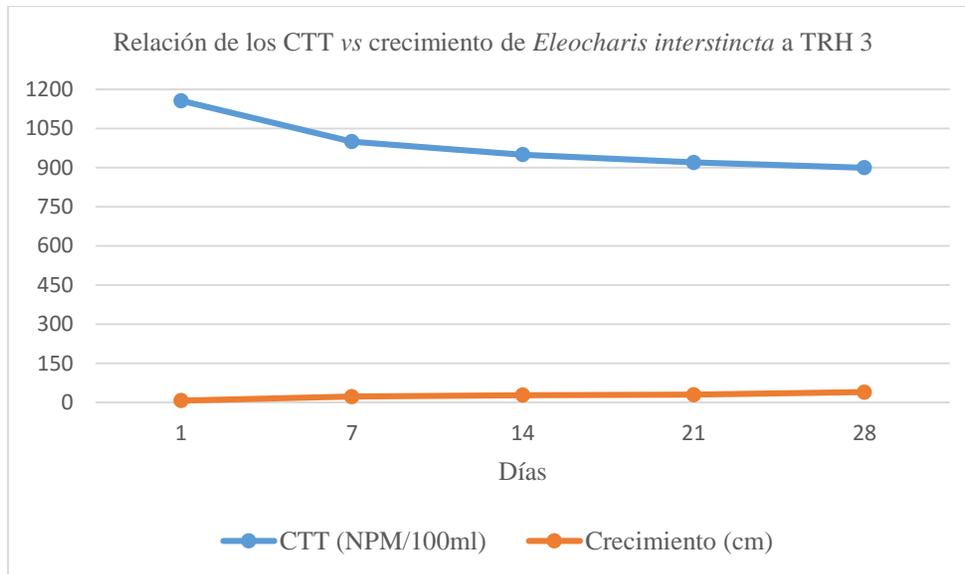


Figura III.2.2.6. Relación entre los Coliformes Termotolerantes (CTT) y el crecimiento de *Eleocharis interstincta*.

En la Figura III.2.2.6, también hay relación entre la disminución de la concentración de coliformes termotolerantes y el crecimiento de la planta utilizada en el humedal artificial. Autores como Reed et al. (1988) y Albuja (2014), coinciden con estos resultados obtenidos y refieren comportamientos similares de la *Typha*, *Eichhornia*, *Lemna* y *Salvinia* que fueron utilizadas en sus estudios y donde la presencia de las macrófitas incrementa esta remoción puesto que su sistema radicular constituye un hábitat favorable para los organismos depredadores y proporciona una gran cantidad de superficie de adsorción para las bacterias.

El análisis estadístico de los indicadores de crecimiento de la macrófita *Eleocharis interstincta* utilizada en el humedal artificial para depurar los efluentes del sistema de digestión anaerobia que trata los residuales porcinos del CIBA indican que no existen diferencias significativas en los indicadores de crecimiento de total de tallos y número de brotes entre los TRH 1, 2 y 3 en las nueve mediciones realizadas (Anexo 21).

En la Tabla III.2.2.2 se reflejan los principales resultados de los parámetros analizados durante la etapa experimental y se comparan con los valores establecidos en la NC 27/2012 sobre vertimiento de residuales líquidos a cuerpos de agua receptores. Se aprecia que el pH, el PT y los SS son los únicos parámetros que cumplen con la norma. En cambio, los valores del resto de los indicadores superan los límites establecidos. Estos resultados sugieren que, aunque se logran valores de remoción considerables que mejoran la calidad del efluente, el TRH establecido en el diseño experimental no es suficiente para reducir los valores hasta niveles que permitan su vertimiento.

El incremento del TRH incide favorablemente en que se depure en mayor medida el residual, por la reducción de la mayoría de los parámetros evaluados. Lo que

sugiere que esta podría ser una estrategia, a medida que se incremente la colonización del humedal por las plantas, para mejorar las características del agua tratada.

De ahí que se recomienden acciones de mejoras desde el propio inicio de la actividad porcina, reduciendo la carga orgánica y valores de agua que son contaminadas, haciendo uso de metodologías de tecnologías limpias que requieren análisis de consumo de agua, concentración de sólidos (dilución) que reduzca la posibilidad de una sobrecarga al sistema. También aprovechando las dimensiones del digestor, propiciar un modo de operación con TRS mayores a los que hoy se usan, incorporando escalonadamente el volumen a tratar, que favorece el establecimiento de una microflora más abundante en el digestor.

También se ha de prestar atención a un aspecto importante que influye en la eficiencia de operación de un sistema de tratamiento con humedales que es la oclusión de los espacios vacíos del lecho filtrante. González y Deas, (2011) plantean que la oclusión del lecho puede evitarse si se tienen en cuenta los siguientes aspectos: el bajo contenido de materia orgánica (MO) en el agua a tratar, el eficiente pretratamiento de los sólidos antes de entrar a los humedales artificiales subsuperficiales (Has), y finalmente, la baja densidad de plantas por área, restringiendo la producción y acumulación de las partes muertas. Este fenómeno se produce además debido a la acumulación y/o el crecimiento de las raíces de las plantas, lo que provoca una reducción de la disponibilidad del oxígeno.

Debe considerarse que, el uso de aguas con bajo contenido orgánico es un factor importante en prevenir la oclusión del lecho, aspecto este que ha de monitorearse. Por lo que la presencia de elevados valores de DQO y DBO₅ en las purinas tratadas, no favorecen el cumplimiento de estas premisas.

Algunos investigadores han reportado que la oclusión es más severa entre los primeros 1/4 y 1/3 del sistema de filtración. De hecho, la oclusión del filtro superficial en los HFSS-V constituye uno de los principales problemas a considerar cuando se tratan aguas residuales con alta carga orgánica contaminante. La obstrucción del lecho lleva a una rápida afectación en el funcionamiento del sistema y, por tanto, la reducción del oxígeno disponible. Langergraber *et al.* (2003) plantean que el atasco del lecho puede ser contrarrestado aplicando bajas cargas hidráulicas y orgánicas al humedal o por la disposición de más lechos de reposo. Durante este período de reposo, el material orgánico que bloquea los poros es degradado y la conductividad hidráulica se restablece.

Tabla III.2.2.2 Comparación de la remoción de contaminantes vs legislación ambiental vigente para vertimiento de residuales líquidos a cuerpo receptor de tipo A.

| Parámetro | Entr Biodig | Sal Biodig | TRH 1 | TRH 2 | TRH 3 | Control | NC 27/2012 |
|-----------------|-------------|------------|-------|-------|-------|---------|------------|
| CE (μS/cm) | 6574 | 3700 | 2591 | 2238 | 1861 | 2882 | 1500 |
| pH | 7 | 8 | 7 | 8 | 8 | 7 | 6 a 9 |
| PT (mg/l) | 23 | 11 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| SS (ml/l) | 20 | 14 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| DQO (mg/l) | 1809 | 555 | 405 | 352 | 212 | 422 | 90 |
| DBO5 (mg/l) | 355 | 111 | 78 | 71 | 42 | 81 | 40 |
| CT (NPM/100ml) | 8898174 | 495324 | 15269 | 9033 | 4794 | 16574 | 1000 |
| CTT (NPM/100ml) | 1779635 | 99065 | 3054 | 1807 | 959 | 3315 | 200 |

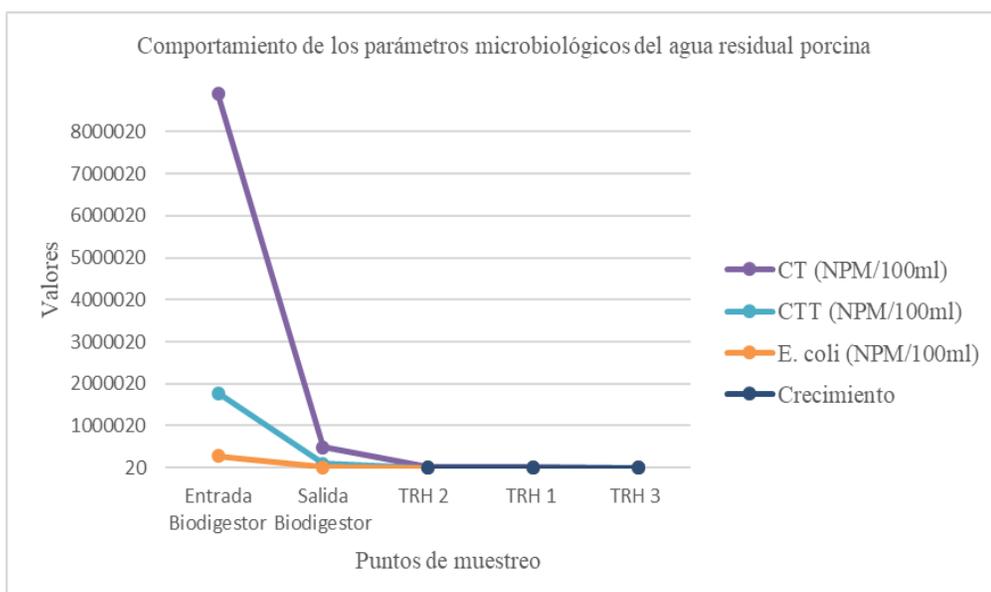
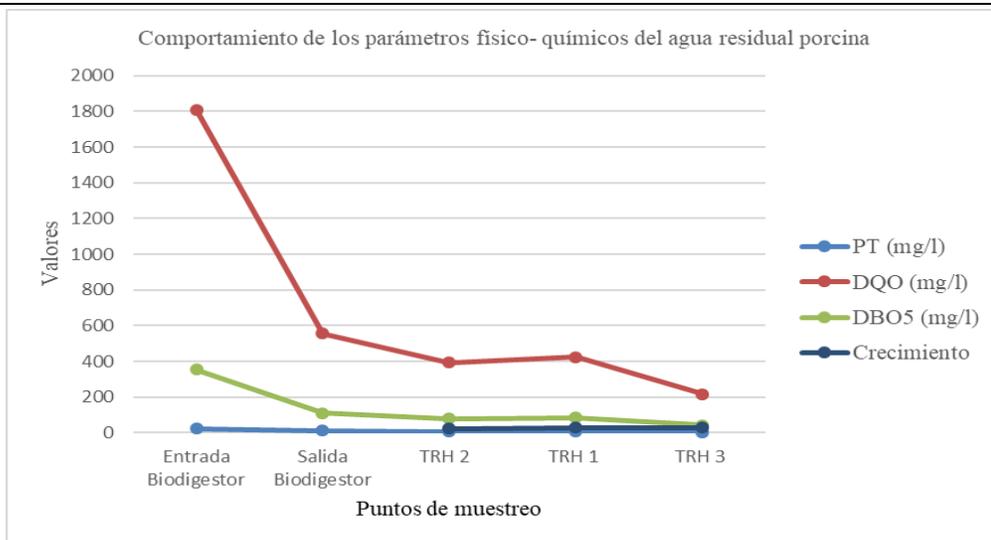


Figura III.2.2.7. Comportamiento de los parámetros físico- químicos y microbiológicos del agua residual porcina tratada en el Sistema de Tratamiento del CIBA.

En la Figura III.2.2.7 se pone de manifiesto que la inclusión de un humedal artificial mejora la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales porcinas. Sobre todo, por la actividad de las plantas y los microorganismos que crecen en la rizósfera y la superficie del sustrato, los que ejercen una influencia positiva en la disminución de la carga orgánica expresada en DQO, DBO₅ y los microorganismos patógenos. Para demostrar este planteamiento se toman como referencia los puntos de entrada y salida del biodigestor y se compara con los puntos de muestreo de los tres TRH a los 21 días donde se observa un crecimiento aproximadamente tres veces superior al obtenido en la primera caracterización del residual.

A partir de la implementación del humedal artificial para mejorar la calidad de los efluentes generados en el biodigestor de cúpula fija, se observó la llegada gradual de una variedad de fauna que no existía en el área de estudio.

Conclusiones parciales

- En el sistema de tratamiento anaerobio para residuales porcinos evaluado, los valores de remoción no sobrepasan el 61 % de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y el 60 % de Coliformes Termotolerantes (CTT), por lo que se incluye al sistema de tratamiento de forma experimental, un humedal artificial.
- Con el humedal artificial ensayado como tratamiento terciario se logra a 3 días de TRH una remoción de la carga contaminante expresada en términos de DQO, DBO₅ en más del 88 %, coliformes totales (CT) y termotolerantes (CTT) en más del 99 %.
- El crecimiento de *Eleocharis interstincta* a los 28 día fue de 40 cm y los indicadores físico-químicos del agua residual evaluada después de fluir por el humedal con esta especie vegetal, se redujeron hasta 216 mg/l de DQO, 43 mg/l de DBO₅ y 3.8 mg/l de PT y con ausencia de Sólidos Sedimentables (SS).
- La circulación del residual porcino a través del humedal artificial favoreció la reducción de indicadores microbiológicos, no así para los indicadores físico-químicos evaluados que no logran alcanzar los niveles permisibles por la NC 27/2012.
- Es necesario estabilizar los parámetros de funcionamiento del biodigestor anaerobio para garantizar la efectividad del humedal artificial y evaluar su uso eficiente.
- Se recomienda modificar el diseño del humedal artificial para incrementar la eficiencia en la remoción de contaminantes e incorporar otras especies de macrófitas identificadas como remediadoras de aguas residuales porcinas.

- E incrementar los TRH en el Sistema de tratamiento de residual utilizando el humedal artificial con el propósito de mejorar los valores de los parámetros físico- químicos y microbiológicos y así cumplir con las regulaciones ambientales vigentes.

III.3 Propuesta de programa de gestión para la protección de los recursos hídricos subterráneos del sector hidrogeológico CA-I-5.

III.3.1 Responsabilidad Institucional en la protección de los recursos hídricos

- Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (INRH) de Ciego de Ávila, con sus dependencias: Empresa de Aprovechamiento Hidráulico (EAH), UEB de Mantenimiento e hidrometría, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (EIPH), Empresa de Acueductos y Alcantarillado (EAA), Empresa de Servicios Comunes
- Delegación Provincial del CITMA

Organismos consultores

- Instituto de Planificación Física Ciego de Ávila
- Delegación Provincial de suelo
- Centros de Higiene y Epidemiología

III.3.2 Estrategias para el control de la contaminación

Tal y como plantean Foster et al (2007) dentro de las estrategias para el control de la contaminación de las aguas subterráneas, se tiene en cuenta

III.3.2.1 La prevención de la contaminación futura:

- Para la planificación y uso del territorio (urbanización e industrialización), el uso como herramienta del mapa de vulnerabilidad, para evitar o prohibir las actividades potencialmente peligrosas.
- En la planificación deben establecerse las ZPS de las fuentes existentes, unido al mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, como guía de los niveles de control requeridos por la actividad potencialmente contaminante.
- En el caso de nuevas actividades potencialmente contaminantes de gran escala e impacto potencial, debe ser requisito la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) como parte del proceso de autorización.
- Reuso de los efluentes.

III.3.2.2 Manejo de las Fuentes de Contaminación Existentes

- Priorizar las medidas de control de la contaminación del agua subterránea en las áreas donde ya exista una gama de actividades

potencialmente contaminantes (monitoreo planificado), según nivel de prioridad.

- Reducir o eliminar la carga contaminante con la modificación del diseño, sustitución o construcción de nuevos sistemas de tratamientos de residuales.
- Reuso de efluentes.

III.3.2.3 Contaminación histórica de terrenos

- Evaluar el riesgo en términos de probabilidad de impactos en seres humanos, animales o plantas, resultantes del contacto con y/o ingestión de terrenos contaminados y/o agua subterránea, bajo los criterios de emprender trabajos de remediación, estudios costo-beneficio y evaluación de la incertidumbre.

III.3.2.4 Selección de Nuevas Áreas de Abastecimiento de Agua Subterránea

- Evaluación e identificación de las actividades antrópicas capaces de generar una carga contaminante al subsuelo elevada y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero

III.3.2.5 Determinación de los niveles prioritarios para el control de la contaminación

Se determinaron los niveles prioritarios para el control de la contaminación tanto para el sector en general como para las ZPS de las fuentes de abasto. El resumen se presenta por cada área de los municipios dentro del sector.

Tabla III.3.2.5.1 Niveles de acciones prioritarias para el control de contaminación dentro del sector CA-I-5

| Municipio | Fuentes contaminantes | Actividad | Carga contaminante | Vulnerabilidad | Nivel de acción |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Ciego de Ávila (43) | 15 | Agropecuaria | Elevado (14) | Alta | 1 |
| | | | Moderado (1) | Alta | 1 |
| | 9 | Industrial | Elevado | Alta | 1 |
| | 1 | Urbanas varias | Moderado | Alta | 1 |
| | 18 | Urbanización | Elevado (12) | Alta | 1 |
| | | | Moderado (6) | Alta | 1 |
| Ciro Redondo (30) | 12 | Agropecuaria | Elevado (12) | Alta | 1 |
| | 8 | Industrial | Elevado (8) | Alta | 1 |
| | 1 | Disposicion de residuos (1) | Reducida | Alta | 2 |
| | 1 | Explotación petrolera | Elevado | Alta | 1 |
| | 1 | Urbanas varias | Reducida | Alta | 2 |
| | 7 | Urbanización | Elevado (7) | Alta | 1 |

| | | | | | |
|---------------|---|----------------|--------------|------|---|
| Morón (31) | 6 | Agropecuaria | Elevado | Alta | 1 |
| | 6 | Industrial | Elevado | Alta | 1 |
| | 4 | Urbanas varias | Elevado | Alta | 2 |
| | | | Moderado (2) | Alta | 1 |
| | | | Reducida | Alta | 2 |

Tabla III.3.2.5.2 Niveles de acciones prioritarias para el control de contaminación dentro de las ZPS

| Municipio | Fuente de abasto | Vulnerabilidad a la contaminación | Carga contaminante en la zona de captura | Carga contaminante en la zona de alimentación | Nivel de acción (I) | Nivel de acción (II) |
|----------------|------------------|-----------------------------------|--|---|---------------------|----------------------|
| Morón | Alevinaje | Alta | Moderado | Moderado | 1 | 2 |
| | Patria III | Alta | Moderada | Elevado | 1 | 1 |
| | Km 35 | Alta | Elevado | Elevado | 1 | 1 |
| Ciro Redondo | La Pradera | Alta | Elevado | Bajo | 1 | 2 |
| | Barrio Nuevo | Alta | Elevado | Elevado | 1 | 1 |
| | El Micro | Alta | Elevado | Elevado | 1 | 1 |
| | Fondo PCC | Alta | Elevado | Elevado | 1 | 1 |
| | Eucaliptos | Alta | Elevado | Bajo | 1 | 2 |
| | Manguito | Alta | Elevado | Bajo | 1 | 2 |
| Ciego de Ávila | Ceballos | Alta | Elevado | Elevado | 1 | 1 |
| | Ruspoli | Alta | Elevado | Moderado | 1 | 1 |

Tabla III.3.2.5.3 Aceptabilidad de las actividades e instalaciones comunes potencialmente contaminantes según la vulnerabilidad del acuífero en el sector hidrogeológico CA-I-5.

| Municipio | Fuentes contaminantes | Actividad | Aceptabilidad |
|------------------------|-----------------------|----------------|---------------|
| Ciego de Ávila (43) | 15 | Agropecuaria | PA |
| | 9 | Industrial | PA |
| | 1 | Urbanas varias | PA |
| | 18 | Urbanización | PA |

| | | | |
|----------------------|----|--------------------------------|----|
| Ciro Redondo (30) | 12 | Agropecuaria | PA |
| | 8 | Industrial | PA |
| | 1 | Disposición de residuos (1) | PN |
| | 1 | Explotación petrolera | N |
| | 1 | Urbanas varias | PA |
| | 7 | Urbanización | PA |
| Morón (31) | 6 | Agropecuaria | PA |
| | 6 | Industrial | PA |
| | 4 | Urbanas varias | PA |

N = no aceptable en prácticamente todos los casos;

PN = probablemente inaceptable, excepto en algunos casos sujetos a investigación detallada y diseño especial;

PA = probablemente aceptable sujeto a diseño e investigación específicos;

A = aceptable sujeto a diseño estándar

Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es alta en las áreas donde se encuentran ubicadas las fuentes contaminantes en el sector CA-I-5, la aceptabilidad se manifiesta de la siguiente forma:

Total de fuentes: 104

Probablemente aceptable (PA): 102

No aceptable: 1

Probablemente inaceptable: 1

Las actividades que probablemente se aceptan, deben estar bajo investigación para cambios en tecnologías amigables con el medio ambiente y monitoreo constante, principalmente los sistemas de tratamiento y la disposición final del residual.

Tabla III.3.2.5.4 Aceptabilidad de las actividades e instalaciones comunes potencialmente contaminantes según las ZPS en las fuentes de abasto

| Municipio | Fuente de abasto | Categoría de la fuente | Actividad en la zona de captura | Actividad en la zona de alimentación |
|----------------|------------------|------------------------|--|--------------------------------------|
| Morón | Alevinaje | IV | - | Agropecuaria |
| | Patria III | III | - | Urbanización |
| | Km 35 | III | Urbanización | Agropecuaria |
| Ciro Redondo | La Pradera | IV | Urbanización | Urbanización |
| | Barrio Nuevo | IV | Urbanización | Urbanización |
| | El Micro | IV | Urbanización | Urbanización |
| | Fondo PCC | IV | Urbanización | Urbanización |
| | Eucaliptos | IV | Urbanización | Agropecuaria |
| | Manguito | IV | Industrial | Agropecuaria |
| Ciego de Ávila | Ceballos | IV | Urbanización Agropecuaria Urbanos varios | Industrial |
| | Ruspoli | III | Urbanización | Agropecuaria |

Todas las actividades que se realizan en las ZPS son dañinas o no admisibles, según la NC 1192, (2017), coincidiendo además lo que plantea Foster et. al., 1993; Hirata, 1993 en la Matriz de aceptabilidad de las actividades e instalaciones potencialmente contaminantes de acuerdo a las ZPS de las fuentes de abasto.

En el caso de las fuentes de Patria III y Alevinaje, no se realizan actividades en la zona de captura, que pudieran dañar la calidad del recurso, aunque si en la zona de alimentación.

III.3.2.6 Problemática identificada y propuesta de acciones según la actividad contaminante

Tabla III.3.2.6.1 Plan de acción para la protección del recurso hídrico en el Sector Hidrogeológico CA-I-5 y las fuentes de abasto ubicadas en esta área

| Actividad | Problemática | Acciones | Indicador de verificación |
|-----------|--|--|---|
| Agrícola | Uso indiscriminado de fertilizantes químicos. | Disminución del 20 % del uso de fertilizantes químicos | % de alternativas ecológicas aplicadas a la producción agrícola |
| | No aprovechamiento de los residuos de cosechas | Incremento en 20 % del uso de prácticas agroecológicas | Toneladas de productos agroecológicos |
| | Uso irracional del recurso agua | Cumplimiento de la demanda de agua acorde con la Resolución 287/2015 del INRH | Volumen de agua demandado según actividad |
| | Sistemas de riego ineficientes. | Sustitución de los sistemas de riego por eficientes | Cantidad de sistemas de riego sustituidos |
| | Incumplimiento de la legislación ambiental relacionadas con la actividad | Aplicación de las contravenciones establecidas por la legislación ambiental vigente | Nº de contravenciones aplicadas |
| Pecuarios | Establecimiento de la producción porcina no especializada sin autorización legal y ambiental | Visita por parte de las autoridades ambientales de cada municipio para orientar a los productores nuevos y existentes de los procedimientos legales. | Nº de licencias otorgadas a los productores |
| | Ausencia de sistemas de tratamiento de residuales líquidos | Construcción de STR apropiados y alternativos para esta actividad | Nº de STR construidos |
| | Sistemas de tratamiento de residuales con mal y regular estados | Realizar mantenimientos a los STR existentes | Nº de mantenimiento realizado |

| | | | |
|--------------|--|---|---|
| | técnicos constructivos y funcionamiento | | |
| | Sistemas de tratamiento de residuales líquidos incompletos (tratamientos primarios, secundarios y terciarios) | Incorporar a los STR trampas de sólidos, rejillas, desarenadores, lechos de secado | Nº de sistemas primarios, secundarios y terciarios insertados en los STR |
| Pecuarios | No evaluación del funcionamiento de los sistemas de tratamiento (desconocimiento de la carga contaminante que se dispone al medio) | Contratar con los organismos especializados, la caracterización de los efluentes derivados de los STR | Resultado de la caracterización y cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma |
| | No aprovechamiento de los efluentes de los sistemas de tratamiento | Aprovechar los efluentes sólidos y líquidos en la actividad agropecuaria o comercializarlos con la agricultura | Volumen de efluentes aprovechables |
| | Incumplimiento de la NC 27/2012 y con otras legislaciones ambientales | Aplicación de las contravenciones establecidas por la legislación | Nº de contravenciones aplicadas |
| Urbanización | Los STR líquidos en los asentamientos urbanos ineficientes por falta de mantenimiento, diseño obsoleto | Ampliar y realizar mantenimiento a los STR existentes en asentamientos urbanos que han crecido demográficamente | Nº de acciones realizadas en el STR existente |
| | No existen STR líquidos en los asentamientos rurales, solo fosas sépticas y por lo general letrinas | Eliminar las letrinas y sustituirlas por otro STR (fosas sépticas) a falta de saneamiento comunitario | Nº de fosas sépticas construidas |

| | | | |
|------------|---|--|--|
| | Gestión inadecuada de residuales líquidos en Instituciones de salud pública, grupos electrógenos, educación, unidad militar | Insertar los residuales del hospital Morón a la red de alcantarillado y establecer mantenimiento operacional de los STR en el resto de las instituciones | Nº de acciones realizadas para disminuir la carga contaminante |
| | Disposición de residuos sólidos en zonas no definidas como vertederos en zonas urbanas y rurales | Distribuir de manera equitativa colectores de desechos en zonas urbanas y rurales. Recogida sistemática de los desechos. | Nº de colectores instalados y volumen de residuos recogidos |
| | Rellenos sanitarios que incumplen con las normas técnicas y ambientales | Construir los rellenos sanitarios acorde con las normas técnicas y ambientales. | Nº de inspecciones ambientales |
| Industrial | Sistemas de tratamiento de residuales con mal y regular estados técnicos constructivos y de funcionamiento, principalmente en el sector estatal | Establecer los mantenimientos operacionales de los STR | Nº de mantenimientos realizados |
| | Surgimiento o auge de mini industrias privadas sin sistemas de tratamientos de residuales líquidos | Construcción de STR según tipo de residual | Nº de STR construidos |
| | No aprovechamiento de los desechos sólidos de la producción tanto de las industrias estatales como privadas | Utilizar los desechos sólidos según sus características en: Alimento animal Alternativas agroecológicas Artesanía | Toneladas de desechos aprovechados por alternativa |
| | Incumplimiento de la normativa en | Construcción de muros de contención | Nº de muros de construcción |

| | | | |
|-------------------------|--|--|---|
| | cuanto al manejo de petróleo y sus derivados (Talleres ferroviarios y mecánica) | a los depósitos de petróleos y sus derivados y aplicación de material absorbente ante derrames | construidos |
| | Incumplimiento de la NC 27/2012 y con otras legislaciones ambientales | Aplicación de las contravenciones establecidas por la legislación ambiental vigente | Nº de contravenciones aplicadas |
| Explotación de petróleo | Posibles derrames de petróleo tanto en superficie como en el interior de los pozos que pudiera contaminar las aguas subterráneas | Construcción de muros de contención a los depósitos de petróleos y sus derivados y aplicación de material absorbente ante derrames. Control y monitoreo de las aguas subterráneas en la zona de explotación y aguas abajo. | Resultados de caracterización de las aguas subterráneas |

III.3.3 Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas

Para las fuentes de abasto lo más importante es mantener el monitoreo a la calidad del agua subterránea para comprender la calidad natural de partida del sistema hídrico subterráneo, recolectar nuevos datos sobre el sistema acuífero para mejorar su modelación conceptual y numérica, verificar las evaluaciones del peligro de contaminación del agua subterránea y confirmar la efectividad de las medidas de protección de la calidad del agua subterránea.

III.3.3.1 Red de monitoreo en el sector hidrogeológico CA-I-5

El sector hidrogeológico CA-I-5 cuenta con la Red de Calidad de las aguas subterráneas, que se monitorea mensualmente:

- Total de pozos: 22
- Pozos Batométricos: 3
- Pozos de observación de niveles mensual: 19

III.3.3.2 Limitaciones de muestreo en los pozos de explotación

- Se muestrean 22 pozos de ellos 19 en explotación, por lo que la muestra es un coctel de agua subterránea ya que la captación se produce en un

gran tramo de su profundidad por lo que se limita la interpretación de los datos tal y como refieren Foster y Gómez, (1989).

- El muestreo se realiza por la tapa del pozo por lo que posibilita la modificación físico-química de las muestras de agua subterránea (comparada con las condiciones in situ) debido a procesos tales como: oxidación y precipitación de los iones metálicos disueltos y otros que constituyentes sensibles a los cambios de Eh, volatilización, que causa pérdidas de los componentes inestables tales como hidrocarburos de petróleo y solventes orgánicos sintéticos y despresurización, que causa pérdidas de gases disueltos tales como CO₂ y modificación del pH.

III.3.3.3 Monitoreo sistemático para el control de la contaminación de las aguas subterráneas

- **Monitoreo Ofensivo de Fuentes de Contaminación Potencial:** detección temprana de la contaminación incipiente del acuífero producida por fuentes conocidas de contaminación potencial, realizando el monitoreo inmediatamente gradiente abajo de la fuente, y eligiendo los parámetros analíticos específicos con respecto a esa fuente de contaminación.
- **Monitoreo Defensivo de Fuentes de Abastecimiento de Agua Subterránea:** alertar sobre las plumas de contaminación que amenazan los campos de bombeo de agua potable o pozos y manantiales individuales, mediante la instalación de una red de monitoreo gradiente arriba de estas fuentes, que sea capaz de detectar a tiempo la aproximación de agua subterránea contaminada para que sean tomadas acciones de investigación adicionales y medidas de remediación.
- **Monitoreo de Evaluación en Sitios con Contaminación de Acuíferos Conocida:** para confirmar la efectividad de los procesos naturales de atenuación de contaminantes, para confirmar la efectividad de las medidas ingenieriles de remediación tomadas para limpiar o contener la contaminación del acuífero.
- **Selección de Parámetros Analíticos:** debe ser encarada teniendo en cuenta la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea (actividad contaminante) y definirse la frecuencia del muestreo.

Conclusiones parciales

- El 94.3 % de las fuentes contaminantes del sector CA-I-5 se contemplan en el nivel de prioridad 1 para el control de la contaminación, al igual que todas las zonas de captura en las fuentes de abasto, mientras que para la zona de alimentación el 45 % tienen un nivel 2 de prioridad.
- De forma general para el sector el 98 % de las actividades e instalaciones contaminantes son probablemente aceptables sujetas a diseños e

investigación específicos, por lo que requieren medidas de control, un 1 % corresponde a probablemente no aceptable y no aceptable para zonas con alta vulnerabilidad a la contaminación del acuífero.

- En el caso de las ZPS de las fuentes de abasto el 100% de las actividades e instalaciones ubicadas en estas áreas resultan dañinas o no admisibles.
- El monitoreo de calidad de agua planificado a las fuentes de abasto administradas por el INRH ha propiciado la identificación de las características físico químicas y microbiológicas del agua y con ello la necesidad de tratamientos.
- El plan de acción propuesto constituye una herramienta de trabajo que facilitará la toma de decisiones para contribuir a la mitigación de la contaminación de las aguas subterráneas en el sector CA-I-5.

Bibliografía

1. Albuja, Z. K. R. 2014. Implementación de un sistema de descontaminación productivo de aguas residuales de origen pecuario en la granja “La Pradera”, en la provincia de Imbabura, Sangolquí. Tesis en opción al título de Master en Sistemas de Gestión Ambiental. Ecuador, Diciembre.
2. Alonso, D. E.; Lorenzo, Y. A.; Díaz Y. M. C.; Sosa, R. C.; Angulo Y. Z. 2014. Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar. Vol. 48, núm. 3, Septiembre- Diciembre, 2014, pp. 16-21
3. APHA, 1998. Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. Eds. Lenore S. Clescerl, Arnold E. Greenberg, Andrew D. Eaton. 2671p.
4. Batista J. C., Jiménez S. y Pérez V. I., 1994. “Cálculo de zonas de protección sanitarias”. Software PROTZON. Versión 1. CENHICA y EIPHH, La Habana.
5. Bernardes, Jr. C., R. Hirata, J. Mendes, y R. Cleary. 1991. “Remedial action for an industrial open dump-proposed
6. Bragança A. S. G y Petean C B. 2004. O gênero *Eleocharis* r. Br. (Cyperaceae) nos ecossistemas aquáticos temporários da planície costeira do estado do rio de janeiro. Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro, v.62, n.2, p.131-150, abr - jun.2004. ISSN 0365-4508.
7. Cerabolini, B., de Andreis, R., Ceriani, R. M., Pierce, S. y Raimondi, B. 2004. Seed germination and conservation of endangered species from the Italian Alps. *Physoplexis comosa* and *Primula glaucescens*. Biological Conservation. Vol 117:351.
8. Cheremisinoff, P. 1992. A guide to underground storage tanks evaluation, site assessment and remediation. New Jersey: Prentice- Hall.

9. CITMA, 2011. Informe científico Técnico. Estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos ante intensa sequía, en la provincia Ciego de Ávila.
10. Custodio, E., 1996 "Groundwater Problems in General and in Spain in Particular", Elsevier, 6(5): 68-83. European Water Pollution Control.
11. Custodio, E., 1997 "La explotación de aguas subterráneas y su problemática asociada", Hidrogeología, 13: 111-127. Madrid: AEHS.
12. Espinosa C, Muñoz R y Lobo G, 2004. Hacia una propuesta de zonas de protección de captaciones en Chile. IV Seminario- Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: Protección de la calidad del agua. Lima, Perú.
13. Estrada I. Y. G. 2010. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Tesis en opción al título de Tecnóloga Química. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías Escuela Química Pereira.
14. Expósito J.L., Gárfias J.M., Franco R., Esteller M.V., 2007. "Delimitación de perímetros de protección de pozos en un acuífero libre con conductividad hidráulica vertical variable". Revista Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XXII, num. 2, pp 55-67. México.
15. Fetter C. 1988. Applied hydrogeology. New York: Macmillan Publishing Company.
16. Foster S. S. D., Hirata R. y Gómez D. 2007. "Protección de la calidad del agua subterránea". Guía Técnica. Propuesta Metodológica para la protección de las aguas subterráneas. Editorial Mundiprensa. ISBN 13: 9788484761464. España.
17. Foster S. S. D., Hirata, R., 1988 Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81pp.
18. Foster S.S.D. and Chilton P., 1998. Groundwater: The processes and global significance of aquifer degradation. The Royal Society British Geological Survey. Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK.
19. Foster S.S.D., 2000. Assessing and controlling the impacts of agriculture on groundwater from borley barons to beef bans. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 33 (4) 263-280.
20. Foster, S. S. D. Hirata R., Gómez D, Monica D'Elia y Marta Paris (2003). "Protección de la Calidad del Agua Subterránea". Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Groundwater Management Advisory Team. Washington, D.C. ISBN 84-8476-146-0

21. Foster, S. S. D. y Gomes. D., 1989. "Groundwater quality monitoring: an appraisal of practices and costs." WHO-PAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Perú.
22. Foster, S. S. D. y Hirata, R., 1988. "Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data." WHO-PAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Perú.
23. FOSTER, S. S. D., 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proc. Interl Conf. "Vulnerability of soil and groundwater to pollutants" Noordwijk, The Netherlands.
24. Foster, S. S. D., B. Adams, M. Morales, y S. Tenjo. 1993. "Groundwater protection strategies: a guide towards implementation." UK ODA, CPR, WHO/PAHO-HPE. Technical Manual. Lima, Perú. 88pp.
25. FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R.; Gomes, D.; D'Elia, M.; Paris, M., 2001 Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. World Bank, GWMATE. Washington, 101p.
26. Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. and Paris, M. 2002. Groundwater Quality Protection: a Guide for Water Utilities, Municipal Authorities and Environment Agencies. World Bank Publication. Washington, D.C., USA.
27. Francesena, Y. L. 2016. Impacto ambiental provocado por efluentes de instalaciones de biogás de pequeña y mediana escala en las provincias de la región Central de Cuba. Tesis de Diploma de Ingeniería Agrícola.
28. Garzón, M. A. Z. y Buelna, G. 2014. Caracterización de Aguas Residuales Porcinas y Su Tratamiento por diferentes procesos en México. Rev. Int. Contam. Ambiental, 30 (1), pp 65-79.
29. Gillham, R. y J. Cherry. 1989. Refuse disposal sites and their longterm behavior. Dusseldorf, Alemania: ENVITEC.
30. González O. D. y Deas G. V. 2011. Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal. Rev. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 32(1), pp. 61-70.
31. Hidalgo, J. C.; Montano, J. J. y Sandoval, M. E. 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Rev. Theoria, Vol. 14 (1): pp. 17-25.
32. Hidalgo, M^a D.; del Alamo, J.; Hernández, M. y Irusta, R. 2003. Tratamiento de la Fracción Líquida del purín porcino en Bio-reactores Anaerobios de Lecho Fluidizado. Rev. Ingeniería Del Agua. Vol. 10 · N° 2.
33. Hirata, R. 1993. "Os recursos hídricos subterrâneos e as novas exigências ambientais." Revista do Instituto Geológico de São Paulo 14(1): 39–62.
34. Hirata, R. y Reboucas, A., 1999. "La Protección de los Recursos Hídricos Subterráneos: Una visión integrada basada en perímetros de protección

- de pozos y vulnerabilidad de acuíferos." Boletín Geológico y Minero. 4: 423-436.
35. IIP (Instituto de Investigaciones Porcinas). 2015. Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina. Ministerio de la Agricultura. Grupo de Producción Porcina. Sello Editorial EDIPORC. La Habana, 2015.
 36. Jiménez Y., Vidal V.M., Valdés L.A., Castro M. y Blanco O., 2018. Mapa integrado de Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, zonas de protección a las fuentes de abasto y de carga contaminante, en el sector CA-I-5. Informe Científico del proyecto Gestión de la calidad de las aguas subterráneas. Caso de estudio: sector hidrogeológico CA-I-5 cuenca Morón, provincia Ciego de Ávila. CIBA. Ciego de Ávila. Cuba.
 37. Jiménez, Y., Negrín A., Valdés, L., Vidal V., Costa Y., Castro M., Tuero Y., Sánchez H. 2014. Diagnóstico de Sistemas de Tratamientos en el sector porcino no especializado de la provincia Ciego de Ávila. Revista Computadorizada de Producción Porcina, 21 (2) 2014.
 38. Kostecki, P. T. y E. Calabrese. 1989. Petroleum contaminated soil: remediation techniques, environmental fate, and risk assessment. Vol I. Mich.: Lewis Publishers
 39. Lara, J. A. 1999. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Trabajo final de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
 40. Lewis W.J., S.S.D., Foster C. y Drasar B. 1982. The risk of groundwater pollution by on-site sanitation in developing countries. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Perú.
 41. Llamas, M.R. (1998) "Groundwater Overexploitation", Proceeding of the UNESCO Congress on "Water in the 21st Century: a Looming Crisis", Paris, 2-5 June 1998, vol. 2, preprint: 1-20.
 42. Longergaber G., Fleishmann N. and Hopstaedter F., 2003. A multivariate calibration procedure for UV/Vis spectrometric quantification of organic matter and nitrate in wastewater. Water Sci. Tech. 47 (2), 63-71.
 43. Metcalf and Eddy (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, Tercera edición. Madrid, España.
 44. NC 1021, 2014. Higiene comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba.
 45. NC 1192, 2017. Determinación de las zonas de protección sanitarias en las fuentes de abasto de aguas subterráneas. Oficina Nacional de Normalización. ICS 13.020; 13.060. La Habana, Cuba.
 46. NC 27, 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización.

47. NC 827, 2010. Agua potable. Requisitos sanitarios. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba.
48. NC 93-03, 1985. Higiene Comunal. Sistema de abastecimiento público de agua. Requisitos sanitarios. (Obligatoria). Oficina Nacional de Normalización.
49. Planos, E; A.V. Guevara y R. Rivero, 2013. Cambio climático en Cuba: vulnerabilidad, impacto y adaptación y medidas de adaptación (multimedia), Instituto de Meteorología, Editorial AMA, ISBN 978-959-300-035-2.
50. Reed, S., Middlebrooks, E. y Crites, R. 1988. Natural Systems for Waste Management and Treatment. McGraw-Hill, New York.
51. Rodríguez I.I., Borroto A., Roth L. R., Mazorra C. y Tapia L., 1999. Elementos prácticos para la crianza de cerdos. Monografía Centro de Investigaciones en Bioalimentos. Cuba. Pp 11-15.
52. Rodríguez, J. P. M; Gómez, E; Garavito, L.: López, F. 2010. Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. Universidad Manuela Beltrán, Colombia. Rev. Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, Vol. I, Nº 1, pp. 59-68.
53. Roemer, J. J y Schultes, J. A. 1817. Descripción botánica de *Eleocharis interstincta*. Rev. Syst. Veg. 12: 149.
54. Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., Ortiz, M. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, 25, 3, pp. 157-167.
55. Saeed T. y Sun G., 2012. A review on nitrogen and organics removal mechanism in subsurface flow constructed wetlands. Dependency on environmental parameters, operating and supporting media. Journal of Environmental Management, 112: 429-448.
56. Valderrama, L. T. 1996. Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales. Universitas Scientiarum. Vol. 3 Nº 1-2, 1996, pp 83-97.
57. Valderrama, L. T.; Campos, C.; Velandia, S.; Zapata, N. 2003. Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna* sp., *L. laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. Seminario Internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales.
58. Valdés, L. G.; Jiménez, Y. P.; Pérez, Y. G. 2008. Evaluación del potencial biológico y caracterización físico- química del residual porcino. Revista

- electrónica de la Agencia de Medio Ambiente Año 8, No.15. ISSN-1683-8904.
59. Vidal V.M., González-Abreu R., Jiménez Y., Valdés L.A., Castro M. y Rodríguez D., 2015. Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero norte de la provincia Ciego de Ávila. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental. ISPJAE. Vol. 36, N1 2, pp 45-56. La Habana, Cuba.
 60. Villegas, E. y Guerrero, J. 2007. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Virú. Perú. Rev. Ancient. UNALM 68(1).
 61. Vymazal J., Kropfelova L., 2011. A three- stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage. First 2 year of operation. Journal Ecological Engineering, 37: 90-98.
 62. Zetina, C. E. M., Pat, C. R. J., Peniche, I. J. A., Sauri, V. M. S. 2013. Estudio sobre el uso de macrofitas sumergidas para el tratamiento de agua. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería. Coordinación de Ingeniería Ambiental.