

DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN SANITARIAS DE LA SALINA EL REAL. SANTA LUCIA. CAMAGÜEY

Israel Aleman Trotman⁽¹⁾, Luís Ramos García⁽²⁾, Nereyda Junco Garzón⁽²⁾, Calixto Venegas González⁽²⁾

1. *Sociedad Cubana de Geología. Filial Camagüey. Empresa Geominera Camaguey. Carretera Central Este Km. 5½ Camaguey. Cuba. Telef. 262259. e-mail: israelat@gmcmg.gms.minbas.cu*
2. *Centro de Investigación Tecnología y Medio Ambiente, Calle Cisneros No. 105 altos. Camaguey. Cuba. Telef. 296349.*

RESUMEN

En el norte de la provincia de Camagüey la geografía del litoral crea un sistema natural de lagunas interiores, que desde hace más de cinco décadas el hombre las utiliza como una salina solar. En la actualidad esta salina se denomina El Real y pertenece al Grupo Empresarial Geominsal, aquí se produce sal de consumo humano e industrial para las provincias centrales Cienfuegos, Villa Clara, Santí Spíritus, Ciego de Ávila y Camaguey. Sus niveles de producción actualmente alcanzan alrededor del 15% de la producción nacional, es empeño de esta entidad incrementar la producción de sal e insertar este producto en el mercado internacional, por lo que se hace indispensable ordenar ambientalmente el entorno para conservar y mejorar la calidad de sus aguas. Este trabajo tiene como objetivo delimitar las Zonas de Protección Sanitarias de la salina "El Real", ante el creciente desarrollo sostenido del polo turístico en la playa Santa Lucía, para de esta forma prohibir o restringir, según sea el caso las actividades que puedan alterar cuantitativa y cualitativamente la calidad del producto final "Sal Común", lo que depende únicamente de la calidad de las aguas madre.

La inexistencia de una norma para el establecimiento de las zonas de protección sanitarias a salinas solares, ha causado que se hallan extrapolado las concepciones básicas sobre las zonas de protección sanitarias establecidas para obras de captación de aguas subterráneas, utilizamos investigaciones pretéritas para realizar una caracterización físico – geográfica, geológica e hidrogeológica de la región acompañados de métodos matemáticos que permitieron como resultado del trabajo realizado, establecer y legalizar ante la Oficina Nacional de Recursos Minerales las tres zonas de protección sanitarias, acompañadas de sus respectivas medidas correctoras y preventivas con la finalidad de prevenir la contaminación de las aguas madres y salmuera.

Todo este trabajo constituye una herramienta útil para el ordenamiento territorial, por la coexistencia del desarrollo industrial salinero dentro del Polo Turístico Santa Lucía.

ABSTRACT

In the north of the county of Camagüey the geography of the coast believes a natural system of interior lagoons that for more than five decades the man uses them like a solar saline. At the present time it is saline it is denominated The Real one and it belongs to the Managerial Group Geominsal, here salt of human and industrial consumption takes place for the central counties Cienfuegos, Villa Clara, Santí Spíritus, Ciego of Ávila and Camagüey. Their production levels at the moment reach around 15% of the national production; it is zeal of it is entity to increase the production of salt and to insert this product in the international market, for what becomes indispensable to order the environment environmentally to conserve and to improve the quality of their waters.

This work has as objective to define the Sanitary Areas of Protection of the saline "The Real" one, before the sustained growing development of the tourist pole in the beach Santa Lucía, for this way to prohibit or to restrict, as it is the case the activities that can alter quantitative and qualitatively the quality of the product "Common final Salt", what only depends on the quality of the waters mother.

The nonexistence of a norm for the establishment of the sanitary protection areas to solar salines, it has caused that they are extrapolated the basic conceptions on the sanitary established protection areas for works of reception of underground waters, we use past investigations to carry out a characterization physique. geographical, geologic and hydrogeology of the region accompanied by mathematical methods that allowed as a result of the carried out work, to settle down and to legalize before the National Office of Mineral Resources the three sanitary protection areas, accompanied with their measured respective proofreaders and preventive with the purpose of preventing the contamination of the waters mothers and brine.

This whole work constitutes an useful tool for the territorial classification, for the coexistence of the development industrial salinger inside the Tourist Pole Santa Lucia.

INTRODUCCIÓN

La actividad salinera se realiza en el sistema de laguna “El Real – Daniel”, la cual abarca una superficie de 17km², integrado por 18 lagunas de evaporación, cinco tanques de concentración y 16 cristalizadores, actualmente tiene una capacidad de 50 000 toneladas de extracción y de 26 000 toneladas de elaboración anual de Sal para diferentes usos. La explotación de fangos medicinales y salmueras a pesar de ser productos de nueva utilización, en el poco tiempo que se comercializan, han tenido buena aceptación y la demanda es creciente. Este complejo de lagunas constituye el accidente hidrográfico más relevante en la región, su génesis se vincula con la retracción marina sobre una barrera arrecifal costera que ocupa el área actual de la costa. La depresión (cuyo fondo se localiza por debajo del nivel de base de drenaje) comenzó a recibir la descarga del escurrimiento superficial; de las aguas subterráneas y del mar por infiltraciones formándose las actuales lagunas. Las aguas de este complejo lagunar fueron evaluadas por Juan Romero, (1991) como aguas minero medicinales, así como también los pelóides (fangos medicinales) aquí formados.

Todo el accidente geográfico muestra un elevado potencial de recursos con valores naturales y antrópicos que lo sitúan dentro de las zonas del país con más perspectiva para el desarrollo de la actividad turística desde los años 1980.

En el polo turístico Santa Lucia los principales recursos recreativos se asocian al recurso playa, la cual posee un área aproximada de 35 km², destacándose en el conjunto 19 km. de playa. El área en general tiene capacidad potencial para el desarrollo de más de 17000 habitaciones dispuestas para el turismo y toda su infraestructura inducida.

Este trabajo tiene como objetivo delimitar las Zonas de Protección Sanitarias de la salina “El Real”, ante el creciente desarrollo sostenido del polo turístico en la playa Santa Lucia, para de esta forma prohibir o restringir, según sea el caso las actividades que puedan alterar cuantitativa y cualitativamente la calidad del producto final “Sal Común”, lo que depende únicamente de la calidad de las aguas madre.

La inexistencia de una norma para el establecimiento de las zonas de protección sanitarias a salinas solares, ha causado que se hallan extrapolado las concepciones básicas sobre las zonas de protección sanitarias establecidas para obras de captación de aguas subterráneas, utilizamos investigaciones pretéritas para realizar una caracterización físico – geográfica, geológica e hidrogeológica de la región acompañados de métodos matemáticos que permitieron como resultado del trabajo realizado, establecer y legalizar ante la Oficina Nacional de Recursos Minerales las tres zonas de protección sanitarias, acompañadas de sus respectivas regulaciones de manejo con la finalidad de prevenir la contaminación de las aguas madres y salmuera.

Todo este trabajo constituye una herramienta útil para el ordenamiento territorial, armonizar los interese de conflictos del desarrollo industrial salinero y del Polo Turístico Santa Lucia.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN

La región de Santa Lucia ocupa una superficie aproximada de 380 km², la misma se encuentra ubicada en la costa norte de la provincia de Camagüey, a 120 Km (por carretera) de la capital provincial, entre las bahías de Nuevitas y Nuevas Grandes en las hojas cartográficas 1:50 000 4780 – I (Puerto Pastelillo), 4880 – III (Puerto Manatí) y 4880 – IV (Punta de Ganado).

El relieve por sus características geológico - geomorfológicas se enmarca dentro de una extensa llanura sobre rocas carbonatas de edad Eoceno - Cuaternario. Las cotas no sobrepasan los tres metros de alturas, excepto en La Sierrita en el extremo sureste donde estas alcanzan hasta 30 metros haciéndose abrupto el relieve. A todo lo largo de la costa se presenta una llanura litoral marino – acumulativa, con barreras de biocalcarenitas largas y estrechas cubiertas por sedimentos arenosos dispuestos en forma de dunas, se observa un sistema de lagunas “El Real – Daniel” entre la playa y la llanura cársica del sur, en la que predominan los procesos acumulativos y abrasivos.

Existe una vegetación mayormente xerofítica, de regeneración lenta, constituida por comunidades vegetales como bosque de ciénaga, de mangle como son el rojo, prieto, patabán y yana, yanales, manigua costera, plantas herbáceas adaptadas a condiciones de extrema salinidad como por ejemplo hierba de vidrio, perejil de costa, barrilla, etc., el bosque siempre verde micrófilo que se desarrolla sobre las rendzinas costeras, el cual está condicionado a la acción antropogénica.

El escurrimiento fluvial es escaso, solamente en épocas de lluvias escurren dos o tres arroyos intermitentes hacia el sistema lagunar de la Salina, la cual es un embalse natural de importancia económica, y a la vez es una vía de drenaje pluvial de la región cuando ocurren grandes precipitaciones.

Se presenta un régimen de precipitaciones con estaciones bien delimitadas, un período seco que abarca los meses de diciembre a abril con valores de precipitación de aproximadamente 200 – 300 mm, y un período lluvioso entre los meses de mayo a noviembre en el que los valores de precipitación fluctúan de 400 – 600 mm. El mes de julio se caracteriza por ser el mes menos prolífero en cuanto a pluviosidad dentro del período húmedo, el mes de marzo por ser el más lluvioso del período seco. La Tabla I muestra los valores medios mensual y anual de las precipitaciones en el área de interés, según los datos compilados en el pluviómetro de la Salina, así como los valores promedios históricos de la ciudad de Nuevitas y la provincia de Camagüey, Israel Alemán *et al*, (1998).

Tabla I Valores Promedios de Lluvias caídas (mm) entre 1986 – 2000

Series	Meses												Total Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Salina El Real	48.51	34.84	79.80	29.32	71.89	91.26	31.52	63.04	102.8	171.7	178.7	60.13	963.6
Promedio Histórico de Nuevitas	42.0	21.0	30.0	64.0	122.0	119.0	48.0	67.0	106.0	162.0	101.0	41.0	923.0
Promedio Histórico de la Provincia de Camagüey	30.0	26.0	37.0	69.0	194.0	217.0	133.0	155.0	180.0	181.0	77.0	27.0	1326.0

El abasto de agua potable es a través de una conductora de más de 40 km de longitud que proviene del hidrotaludador que existe en el poblado de San Miguel.

El sistema de alcantarillado es un punto crítico, ya que para el vertimiento de los residuales albañales de todas las instalaciones turísticas y demás población de la región existe solamente una laguna de oxidación.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN

El territorio de Santa Lucía geológicamente está enmarcado en la Cobertura Neotectónica, ACC – Bulgaria, (1981), rocas terrígeno – carbonatadas, descansan sobre rocas serpentiniticas de la Asociación Ofiolítica. Sobre el basamento recién formado se desarrolla una nueva unidad

geotectónica que se denomina Plataforma Moderna, en ella se acumulan sedimentos Holocénicos, Cuaternarios representados por la formación Jaimanitas (js Q₂₋₃S).

La parte inferior del corte está constituida por rocas de la Asociación Ofiolítica que se caracterizan por ser un fragmento alóctono de la cuenca oceánica antigua de origen Jurásico – Cretácico que está constituida por rocas del basamento melanocrático como son hasburgita, dunitas, herzolitas con diferentes grados de serpentinización y que conforman un gigante melange serpentinitico con los gabroides y rocas efusivas.

La parte media del corte es terrígeno – carbonatada semejante a la formación Nuevitas (nvP₂³), constituida generalmente por calizas biógena, biogenodetríticas de coloraciones claras (gris claro, blanco amarillento) carsificada, con intercalaciones de arcillas, calcarenitas de coloraciones oscuras (carmelitas) y arcillas.

Formación Jaimanita (js Q₂₋₃S).

Cubre toda la región de Santa Lucia, ocupa la parte superior del corte constituido por calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas. Las cavidades cársticas en ocasiones se encuentran rellenas por material arcilloso carbonatado, (Figura 1). Presenta potencia presumible de 20 – 30 metros en el área contigua a la costa.

Los sedimentos Holocénicos constituyen pantanos, playas, barras y dunas actuales que se desarrollan en los extremos norte, este y oeste de la región, ocupando una zona inmediata a la costa, con espesores muy pequeños.

Tectónica.

A partir del Eoceno Superior y hasta la actualidad han ocurrido movimientos en dos direcciones fundamentales, en el área de estudio los desplazamientos horizontales prevalecen sobre los verticales que si tienen una marcada actividad en la península del Guincho.

En Santa Lucia la superioridad de los desplazamientos horizontales se manifiesta claramente cuando observamos un relieve llano, donde el escurrimiento superficial es casi nulo, los valles fluviales son muy pocos profundos o no existen.

El descenso del terreno se define en las lagunas interiores El Real – Daniel, que sirven de escurrimiento a toda la planicie del litoral.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA REGIÓN

Acorde con los trabajos de investigación realizados por, Guillermo Sánchez, (1998) y A. Uchitel (1973) en la región de interés puede señalarse la existencia de dos acuíferos fundamentales; uno más joven, poco potente y de extensión reducida que se desarrolla en las arenas costeras del Holoceno, en la zona entre Residencial y Mayanabo (el cual posiblemente se extiende hacia el noreste de Mayanabo y hacia el sureste de Residencial) y otro que ocupa las rocas Pleistocénicas de la formación Jaimanita (js Q₂₋₃S).

El acuífero más joven se encuentra limitado verticalmente por el techo de la caliza biógena y calcarenitas de Jaimanita (que se considera prácticamente impermeable), tiene una potencia de 2 – 4 metros y aloja aguas dulces y poco salobres con mineralización que no superan 1.5 g/l, a juzgar por las densidad de sus aguas. No se poseen datos sobre la conductividad hidráulica de estas arenas, aunque por su granulometría puede pensarse en valores entre 20 – 40 m/d.

La alimentación del acuífero ocurre mediante la infiltración de las aguas pluviales, existiendo tres direcciones fundamentales del flujo subterráneo en la región, hacia el noreste, al suroeste y hacia el oeste, a partir del parteaguas del flujo subterráneo que divide la porción central de la región (Figura 1). La descarga tiene lugar en el mar abierto, en las bahías de Nuevitas y Nuevas Grandes (incluyendo los canales que las comunican con el mar abierto) y en menor grado en las zonas pantanosas costeras, la laguna El Real y zonas localizadas al sur del límite meridional de las lagunas El Real – Daniel.

Las mayores profundidades de yacencia de las aguas subterráneas se localizan en la parte central del acuífero, Guillermo Sánchez, (1998) estas alcanzan de 2 – 3.5 metros a finales del período seco. La profundidad de yacencia decrece hacia las zonas de descarga alcanzando 1.55 y 1.10 a los 700 y 1200 metros respectivamente al sur del borde meridional de la laguna No.8 de la Salina.

Las observaciones efectuadas por A. Uchitel, (1973) revelan que en la porción central del acuífero (zona del parteaguas) a unos 5 km al oeste – noroeste del poblado Palmas de Lucia (Las Ochenta), la amplitud de oscilación anual de las aguas subterráneas es de aproximadamente 2 metros.

Investigaciones realizadas por Guillermo Sánchez, (1998), han detectado que en la franja costera septentrional, el nivel de las aguas subterráneas oscila según los cambios de la marea, a distancias considerables del mar; esto lógicamente debe cumplirse para toda la porción del acuífero que bordea las zonas de descargas ya mencionadas

Tabla II Amplitud de oscilación del nivel de las aguas subterráneas, debido a las oscilaciones del mar, ocasionadas por la marea, a diferentes distancias del mar.

Cala	Coordenadas		Distancia del Mar (m)	Amplitud de Oscilaciones (m)	Profundidad de yacencia media de las aguas (m)
	X	Y			
SL – 4	196 325.00	910 870.00	320	0.60 – 0.70	1.53
CO – 16	196 259.00	909 105.00	1 740	0.40 – 0.50	0.42
C – 11Q	196 059.00	908 436.00	2 430	0.25 – 0.35	1.11
C – 9E	195 675.00	908 130.00	2 900	0.20 – 0.30	1.55

Sobre la base de las pruebas por intervalos realizadas por A. Uchitel, (1973), a las descripciones litológicas de las calas perforadas y a las pruebas de bombeo y recarga efectuadas recientemente, Guillermo Sánchez, (1998), se concluye que las rocas del acuífero presentan una carsificación elevada, siendo la conductividad hidráulica característica para las mismas 740 m/d. (valor medio obtenido de las tres pruebas de recarga efectuadas), acorde con el grado de carsificación se esperan porosidades efectivas entre 0.05 – 0.15 rango dado para las rocas muy carsificadas, Y. Skavalanovich, (1960).

El gradiente hidráulico en el acuífero alcanzan pequeños valores, entre 1×10^{-5} y 1×10^{-6} , característico de rocas muy carsificadas. Según el mapa de hidroisohipsa válido para mediados de los período seco y húmedo de 1998 y estado intermedio de marea, Guillermo Sánchez, (1998), se ha tomado como magnitud característica del gradiente hidráulico (en una franja de 1 km al sur el complejo de lagunas El Real – Daniel) un valor de 0.00006.

Debido a las elevadas conductividades hidráulicas y a su condición de acuífero costero abierto cuya superficie es sumamente reducida (superficie de alimentación), todo el acuífero se encuentra contaminado por las aguas de mar (intrusión salina), presentando como es lógico aguas cloruradas sódicas, con un contenido de sales solubles totales que alcanzan en la porción central del acuífero de 2 – 5 g/l en la parte superior del corte y más de 10 g/l en el piso.

Las muestras tomadas con hidrocaptador, en las calas al sur del límite septentrional de la laguna No. 8 de la Salina, presentan contenidos de sales solubles totales que oscilan entre 4.6 – 14.8 g/l en la parte superior del corte, alcanzan de 10.8 – 26.5 g/l a profundidades que no superan los 20 metros.

Cabe señalar que en las investigaciones efectuadas por A. Uchitel, (1973), se detectaron pozos poco profundos, que presentaron agua con un contenido de sales solubles inferior a 1.5 g/l, lo cual se relaciona con acuíferos colgantes originados por cambios faciales en las rocas carbonatadas de la unidad hidrogeológica.

REGULACIONES LEGALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN SANITARIAS

Gaceta Oficial No. 3. Del 23 de enero de 1995. Ley No. 76. Ley de Minas. Capítulo II. Sección Segunda.

Artículo 13. Los recursos minerales se clasifican a los efectos de esta Ley en los grupos siguientes:

Grupo I: Minerales no metálicos, utilizados fundamentalmente como materiales de construcción o materia prima para la industria y otras ramas de la economía. En este grupo se incluyen las piedras preciosas y semipreciosas.

Grupo II: Minerales metálicos. Este grupo incluye los metales preciosos, los metales ferrosos y no ferrosos, así como los minerales acompañantes metálicos o no metálicos.

Grupo III: Minerales portadores de energía.

Grupo IV: Aguas y fangos minero – medicinales. Comprende las aguas minero – industriales, minero – medicinales, minerales naturales, las termales y los fangos minero – medicinales.

Grupo V: Otras acumulaciones minerales. Este grupo incluye:
las acumulaciones constituidas por residuos de actividades mineras que resulten útiles para el aprovechamiento de algunos de sus componentes tales como colas, escombreras y escoriales; y
todas las acumulaciones minerales y demás recursos geológicos que no están especificados en los anteriores grupos y puedan ser objeto de explotación.

Artículo 39. Con respecto a los recursos minerales del Grupo IV, establecido en el Artículo 13, se prohíbe con carácter general dentro del perímetro de protección:
efectuar vertimientos directos o indirectos que los contaminen;
acumular residuos sólidos, escombros o sustancias, cualquiera que sea su naturaleza y el lugar en que se depositen, que constituyan o puedan constituir un peligro de contaminación o degradación de estos recursos; y
efectuar otras acciones sobre el medio ambiente circundante que puedan contribuir a su degradación.

Gaceta Oficial No. 32. Del 19 de septiembre de 1997. Decreto No. 222. Reglamento de la Ley de Minas.

Capítulo VII. De las aguas minerales y los fangos minero – medicinales.

Artículo 57. Para los recursos minerales del Grupo IV previsto en el Artículo 13 de la Ley de Minas se establecen zonas de protección también denominadas como perímetros de protección con el objetivo de prohibir o restringir; según el caso, las actividades o instalaciones que puedan alterarlas cualitativa o cuantitativamente.

Estas zonas se proponen en el informe final de la investigación geológica y se determinan casuísticamente según la característica geológica, hidrogeológica, geomorfológica y económica – sociales del yacimiento y su entorno, y se denominan como sigue:

zona I: es la que incluye, según el caso, al yacimiento, pozo o manantial y su entorno, y se establece para proteger el recurso mineral contra el vertimiento de contaminantes que pueden afectar de forma inmediata en las primeras veinticuatro horas desde su entrada al acuífero;

zona II: se establece para evitar daños por vertimientos de contaminantes químicos y biológicos degradables a corto plazo con un tránsito de hasta cien días;

zona III: se establece para evitar daños por el vertimiento de contaminantes químicos y radiactivos degradables a largo plazo con un tránsito de hasta cinco años;

Artículo 58. Las actividades que se prohíben o restringen en la zona de protección que corresponda son, entre otras las siguientes:

las mineras, ajenas a la extracción de los minerales del Grupo IV;

las urbanas o rurales, tales como fosas sépticas, cementerios, almacenamiento, transporte y tratamiento de residuales sólidos o aguas residuales;

las agrícolas, avícolas, ganaderas, almacenamiento de fertilizantes y plaguicidas, y riego con aguas residuales;

las industriales, tales como almacenamiento, transporte y tratamiento de hidrocarburos líquidos o gaseosos, productos químicos, radiactivos, alimenticios, mataderos, y

las recreativas, entre las que se encuentran las zonas de baño, campismo y otras similares.

Artículo 59. El informe final de la investigación geológica con la propuesta de zona de protección se presenta a la Autoridad Minera, que dispone de un plazo de noventa días para analizarlo y aprobarlo con la participación de las instituciones que conforman el sistema de protección del medio ambiente, solicitando al autor las aclaraciones o precisiones adicionales necesarias y oído el parecer de los organismos y entidades que tengan intereses en dicha zonas, disponiendo:

las zonas de protección que deben establecerse y, de ellas, las que se incluyen en el área de la concesión de explotación,

las regulaciones para dichas zonas y su control.

Artículo 60. Al presentar la solicitud de la concesión de explotación, el interesado incluirá en ella las zonas de protección aprobadas según se establece en el artículo precedente.

Capítulo XVII. Sección Segunda. De las contravenciones.

Artículo 97. Se consideran contravenciones, por las que se impondrán multas personales e institucionales, según corresponda:

incumplir las medidas y regulaciones establecidas para las zonas de protección de los recursos minerales del Grupo IV, desde cien hasta dos mil pesos;

MATERIALES Y MÉTODOS

Cálculos para la delimitación de las zonas de protección sanitarias.

Se define como zona de protección sanitaria, al área alrededor de la salina donde se establecen diferentes tipos de regímenes especiales, que excluyen en su conjunto, la posibilidad de contaminar la salina u ocasionar un desequilibrio en su sistema biológico tal, que perjudique la producción de sal.

Se consideran tres zonas de protección sanitarias en las cuales se proscriben o regulan, un número de actividades antrópicas, en función de la cercanía de la zona en cuestión al objeto de protección. El conjunto de estas zonas constituyen lo que se denomina “Zona de Protección Sanitaria”.

Las zonas en cuestión se denominan:

Zona I, zona inmediata o zona de régimen estricto.

Zona II, zona próxima o de régimen limitado.

Zona III, zona alejada o de régimen moderado.

Delimitación de la Zona I

La Zona I (de régimen estricto) comprende toda la salina y la zona inmediata a esta, extendiéndose hasta los límites del área de concesión minera.

Delimitación de la Zona II

La Zona II (de régimen limitado) tiene como objetivo fundamental la protección de la salina contra la contaminación microbiológica y química degradable a corto plazo. Su delimitación se efectúa en base a un tiempo de traslado de las aguas subterráneas a través del acuífero, igual al tiempo de supervivencia de las bacterias. Para rocas muy carsificadas se establece un tiempo de supervivencia de las bacterias en las aguas del acuífero de 100 días, CEN, (1990).

En correspondencia con lo expuesto el ancho de la Zona II de protección sanitarias aguas arribas de la salina se obtiene a partir de la ecuación [1], válida para el movimiento unidireccional plano del flujo subterráneo, Guillermo Sánchez, (1995).

$$E_{II} = \alpha \left(\frac{K_D I}{P_E} \right) t_v \quad [1]$$

donde:

E_{II} = distancia desde el borde de la salina hasta el límite de la Zona II (m)

K_D = conductividad hidráulica darciana (m/d)

I = gradiente del flujo subterráneo. (adimensional).

P_E = porosidad efectiva (adimensional).

t_v = tiempo de supervivencia de las bacterias (días)

α = coeficiente de seguridad.

Teniendo en cuenta los resultados de las investigaciones hidrogeológicas, Guillermo Sánchez, (1995), se han escogido para el cálculo, una conductividad hidráulica (K_D) de 740 m/d y un gradiente hidráulico de 0.00006. La porosidad efectiva de rocas con carsificación elevada varia entre 0.05 y 0.15, Y. Skavalanovich, (1960), motivado por la mayor seguridad que imprime al cálculo, se ha seleccionado una porosidad efectiva de 0.05.

Partiendo de que se establece un coeficiente de seguridad de 1.3 a 1.5, para el cálculo del ancho de la Zona II en un campo de pozos, CEN, (1990), y teniendo en cuenta la gran extensión de la salina, la heterogeneidad característica de las rocas carsificadas respecto a sus propiedades de filtración, y el hecho de que los datos con que se cuentan (de K_D e I) solo permite caracterizar una superficie relativamente reducida al sur de las laguna No.8 de la salina, se considera valido un coeficiente de seguridad de 2.5 para el cálculo.

En base a lo expuesto se obtiene sustituyendo en [1]:

$$\begin{aligned} &= 2.5 \left(\frac{740 \times 0.00006}{0.05} \right) 100 \\ &= 222 \text{ metros} \end{aligned}$$

Por analogía con las obras de captación de agua subterránea, y teniendo en cuenta los movimientos de reflujo que tienen lugar en pleamar en sentido opuesto a la dirección normal del flujo (los cuales se

agudizan en épocas de estiajes) la Zona II se extenderá alrededor de toda la salina (ver anexo gráfico No. 2).

Delimitación de la Zona III

La Zona III (de régimen moderado) tiene como finalidad proteger la salina de agentes químicos no degradable a corto plazo y abarcara toda la porción del acuífero aguas arriba, de la salina, hasta el parteaguas subterráneo, que limita la zona a partir de la cual, el flujo subterráneo se mueve hacia las lagunas de la salina.

Esta se divide en dos Subzonas, la IIIa y la IIIb. La IIIa se extiende contigua a la Zona II y deberá tener un ancho no mayor de 2 km. CEN, (1990). La IIIb comprende la porción restante de la Zona III.

El parteaguas subterráneo que se extiende al sureste y oeste de la salina (ver anexo gráfico No.1), constituye el límite natural a partir del cual tiene lugar el movimiento del agua subterránea hacia el objeto de protección, el mismo prácticamente coincide con el parteaguas superficial, por lo cual puede decirse que limita tanto el escurrimiento subterráneo como el superficial que tiene lugar hacia las lagunas de la salina, de hecho el referido parteaguas, constituye el límite de la Zona III al oeste, suroeste y sur de la salina.

Vale consignar que para el trabajo que nos ocupa se decidió tomar el límite de la Zona III desplazado al sur y oeste del parteaguas subterráneo, teniendo en cuenta imprecisiones en su trazado, ocasionadas tanto por la baja densidad de la red de observación como por la inexistencia de observaciones periódicas en los pozos de la red en cuestión.

Para delimitar el límite de la Zona III al este de la salina se consideró que el flujo subterráneo tiene una dirección perpendicular a la línea de costa y en base a ello, se trazó una línea de corriente imaginaria que pasa por el extremo oriental de la salina. El límite de la Zona III se fijó con una recta paralela a la línea de corriente trazada ubicada a una distancia al este, igual a la suma del espesor de la Zona II y IIIa.

Para determinar la ubicación del límite entre las subzonas IIIa y IIIb, los autores establecen como premisa los siguientes requerimientos:

a) Cualquier pozo de recarga de residuales urbanos tratados ubicados en el límite de la zona IIIa más alejada de la salina, (o sea, en el límite entre IIIa y IIIb), no debe provocar contaminación bacteriológica en la salina. El tiempo de demora en llegar a la salina el agua que se infiltra en un pozo de recarga situado en el límite IIIa – IIIb, debe ser mayor o igual al tiempo de supervivencia de la bacteria en el acuífero.

b) Que el límite IIIa – IIIb al sur de las lagunas se localice a una distancia superior o igual a 1 200 metros del borde de las lagunas, de manera que durante el recorrido entre el pozo y las lagunas ocurra una reducción considerable de la concentración de los contaminantes no degradables (nitrógeno y fósforo) que van disueltos en las aguas que se infiltran a causa del fenómeno de la dispersión.

Acorde con lo expuesto en el punto a), el espacio entre el borde de la salina y el límite IIIa – IIIb debe ser igual o mayor al; obtenido según la ecuación [2], que limita el ancho de la Zona II en obras de captación de agua subterránea, F. Pérez Monteagudo **et al**, (1998).

$$E_{IIIa} = \alpha \left[\sqrt{\frac{Qt_v}{\pi H P_E}} + \frac{K_D I t_v}{P_E} \right] \quad [2]$$

donde:

E_{IIIa} = distancia mínima entre el borde meridional de la salina y un pozo de recarga ubicado aguas arribas de dicho borde (m).

Q_R = caudal máximo de evacuación de pozo de recarga (m^3/d)

H = potencia acuífera (15 m)

K_D = conductividad hidráulica darciana (740 m/d)

I = gradiente del flujo subterráneo. (0.00006).

P_E = porosidad efectiva (0.05).

t_v = tiempo de supervivencia de las bacterias en un acuífero con elevada carsificación (100 días)

α = coeficiente de seguridad. (2.5)

Con respecto a la potencia acuífera (15 m), esta concuerda con la establecida al sur de la laguna No.8 de la salina según las investigaciones efectuadas, Guillermo Sánchez, (1995).

El caudal máximo de evacuación de un pozo de recarga (Q_R) de residuales urbanos tratados, ubicado a 1100 metros del borde meridional de las lagunas, puede estimarse a partir de la ecuación [3].

$$Q_R = \beta q_R S \quad [3]$$

donde:

β = coeficiente empleado para incrementar la vida útil del pozo de recarga, a causa de la disminución del caudal específico, por la presencia de sólidos en suspensión en las aguas que se infiltran (0.33).

q_R = caudal específico medio de los pozos de recarga (84.0 l/seg/m).

S = ascenso máximo del nivel dinámico en un pozo de recarga ubicado a 1 100 m al sur de la salina (0.90).

En correspondencia con lo expuesto, el caudal Q_R resulta de aproximadamente 25 l/seg., o sea, 2 160 m^3/d .

El valor de E_{IIIa} calculado por la ecuación [2] resulta:

$$\begin{aligned} &= 2.5 \left[\sqrt{\frac{2160(100)}{\pi(15)(0.05)}} + \frac{(740)(0.00006)(100)}{0.05} \right] \\ &= 2.5 [302.85 + 88.8] \\ &= 979 \text{ metros.} \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta la magnitud de E_{IIIa} obteniendo, se puede expresar con toda seguridad, para todo el objeto de protección, que cualquier recarga de residuales efectuada a 979 metros o más, del borde de la salina, no provoca contaminación bacteriológica en las lagunas, o sea, a distancia iguales o superiores a 979 metros del borde de la salina las infiltraciones de residuales satisfacen la premisa establecida en el punto a).

Queda por comprobar la premisa establecida en el punto b), la cual establece que si un sistema de pozos de recarga de residuales urbanos tratados, se sita a 1 200 metros o más, de las lagunas de la salina, los contaminantes disueltos en las aguas que se infiltran sufrirán (al recorrer el trayecto que separa el punto de infiltración de las lagunas) una apreciable reducción de la concentración, debido al fenómeno de la dispersión. Hecho que como es fácil de entender, limita la cantidad de estos contaminantes que puede penetrar en las lagunas de la salina.

Un estimado de la reducción de la concentración de un contaminante en su recorrido a través del acuífero, a causa de la dispersión, puede obtenerse a partir de la ecuación [4], deducida para el cálculo de la disminución de la concentración de un trazador, A. Plata Bedmar, (1986).

$$C_R = \frac{M}{h\sqrt{(4\pi)^2 D_x D_y}} \quad [4]$$

donde:

M = masa de contaminante (mg). Para los cálculos se considerará una masa de 648×10^6 mg, que resulta la masa que se deposita en 10 días en el acuífero, si por el sistema de recarga se

evacua un caudal de 50 l/seg de agua residual con una concentración de 15 mg/l de contaminante. Esta concentración es la máxima permisible de nitrógeno total, para un cuerpo receptor de tipo "C", ONN, (1999).

h = potencia acuífera (15 metros)

t = tiempo que demora el agua que se vierte a través del pozo de infiltración en recorrer un espacio L (días)

$D_X D_Y$ = coeficiente de dispersión (m^2/d)

Estimaremos la reducción en la concentración que experimenta un contaminante al recorrer una distancia de 1 200 metros.

La ecuación [4] se emplea en cálculo con trazadores, los cuales se mueven a pequeñas velocidades, a las cuales la dispersión es considerable. Por tal motivo en la zona comprendida entre el pozo y 500 metros aguas abajo, donde las velocidades son relativamente grandes se considerará que no existe dispersión del contaminante.

El tiempo que demora el contaminante en recorrer los primeros 500 metros a partir de un pozo de recarga equivalente ($t_{(500)}$), calculado mediante la ecuación [2] para un caudal de 25 l/seg (caudal máximo) y prescindiendo del coeficiente de seguridad resulta:

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{\frac{(2160)(150)}{\pi(15)(0.05)}} + \frac{(740)(0.00006)(740)}{0.05} \\ &= [370.82 + 133.20] \\ &= 504.02 \text{ metros.} \end{aligned}$$

El tiempo en recorrer los 500 metros es de aproximadamente 150 días.

$t_{(500)} = 150$ días

El tiempo en que se recorren los restantes 700 metros, hasta llegar a los 1 200 metros de distancia resulta:

$$t_{(700)} = \frac{E}{U_{real}} \quad [5]$$

$$\begin{aligned} U_{real} &= \frac{K_D I}{P_E} \\ &= \frac{740(0.00006)}{0.05} \\ &= 0.888 \text{ m/d} \\ t_{(700)} &= \frac{700}{0.888} \\ &= 788.28 \text{ días} \end{aligned}$$

El tiempo en que se recorren los 1 200 metros entre el pozo y un punto ubicado a dicha distancia resulta entonces:

$$\begin{aligned} t_{(1200)} &= t_{(500)} + t_{(700)} \\ &= 150 + 788 \\ &= 938 \text{ días} \end{aligned}$$

El volumen de agua invadido a causa de la dispersión en el recorrido desde $L = 500$ metros, a $L = 1$ 200 metros, se obtiene según la ecuación [6].

$$V_{(500 - 1200)} = h\sqrt{(4\pi t_{(1200)})^2 D_X D_Y} - h\sqrt{(4\pi t_{(500)})^2 D_X D_Y} \quad [6]$$

El coeficiente de dispersión en sentido longitudinal a la corriente subterránea (D_x), puede obtenerse a partir de la ecuación [7].

$$D_x = D_o V_{efectiva} \quad [7]$$

donde:

D_o = dispersividad intrínseca (250 metros)

$V_{efectiva}$ = velocidad efectiva del flujo subterráneo.

$$\begin{aligned} V_{efectiva} &= K_D I \\ &= 740(0.00006) \\ &= 0.0444 \text{ m/d.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_x &= (250)(0.0444) \\ &= 11.1 \text{ m}^2/\text{d} \end{aligned}$$

El coeficiente de dispersión en el eje X (D_x) resulta de 11.1 m²/d

La relación entre el coeficiente de dispersión en sentido transversal a la corriente subterránea (D_y), y el coeficiente D_x , alcanza en acuífero carsificados valores mínimo de 0.1, A. Plata Bedmar, (1986), de la cual se obtiene:

$$\frac{D_x}{D_y} = 0.1$$

y por tanto:

$$\begin{aligned} D_y &= 0.1 D_x \\ &= 0.1(11.1) \\ &= 1.11 \text{ m}^2/\text{d} \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación [6] resulta:

$$\begin{aligned} V_{(500-1200)} &= 15\sqrt{(4\pi 938)^2 (11.1)(1.1)} - 15\sqrt{(4\pi 150)^2 (11.1)(1.1)} \\ &= (617819.8 - 98798.5) \\ &= 519021.3 \text{ m}^3 \\ &= 519021300 \text{ litros} \end{aligned}$$

La concentración resultante adquiere el siguiente valor:

$$\begin{aligned} C_R &= \frac{M}{V_{(500-1200)}} \\ &= \frac{648 \times 10^6}{519021300} \\ &= 1.25 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

La eficiencia de depuración debido a la dispersión E_f , a 1 200 metros del punto de vertimiento se obtiene a partir de la ecuación [8].

$$E_{f(1200)} = \left(\frac{C_i - C_R}{C_i} \right) 100 \quad [8]$$

donde:

C_i = concentración del contaminante que se vierte en el pozo (mg/l)

C_R = concentración resultante a una distancia L del pozo (mg/l)

Puesto que C_i es 15 mg/l y C_R es 1.25 mg/l, $E_{f(1200)}$ resulta el 91.67%

A una distancia de 1 500 metros del punto de evacuación se obtiene:

$$V_{(500-1500)} = h\sqrt{(4\pi t_{1500})D_X D_Y} - h\sqrt{(4\pi t_{500})D_X D_Y}$$

$$t_{(1500)} = t_{(500)} + 1000/[740(0.00006)]/0.05$$

$$t(1500) = 150 + 1\,126.13$$

$$= 1\,276.13 \text{ días.}$$

$$V_{(500-1500)} = 15\sqrt{(4\pi 1276)^2 (11.1)(1.1)} - 98798.5$$

$$= 840445.6 - 98798.5$$

$$= 741\,647.1 \text{ m}^3$$

$$= 741\,647\,100 \text{ litros}$$

La concentración resultante a 1 500 metros del pozo es:

$$C_R = \frac{M}{V_{(500-1500)}}$$

$$= \frac{648 \times 10^6}{741647100}$$

$$= 0.874 \text{ mg/l}$$

La eficiencia de depuración del acuífero, debido a la dispersión del contaminante durante el recorrido, desde el punto de vertimiento hasta 1 500 metros de distancia resulta de:

$$E_{f(1500)} = \left(\frac{15 - 0.874}{15} \right) 100$$

$$= 94.18\%$$

La concentración resultante estimada a distancia de 1 200 metros y 1 500 metros aguas abajo de un sistema de evacuación de residuales urbanos tratados (hipotéticos), muestra que en su recorrido desde el pozo hasta dicha distancia ocurre una reducción de la concentración de los contaminantes disueltos en las aguas, a causa del fenómeno de dispersión que supera el 90 %. Por tal motivo el límite entre las subzona IIIa y IIIb, deberá ubicarse a 1 200 metros de distancia como mínimo del borde de las lagunas para satisfacer las premisas establecidas en el punto b).

Puesto que la Zona II tiene un espesor de 222 metros y el límite entre las subzonas IIIa y IIIb deben ubicarse a 1 200 metros como mínimo del borde de las lagunas; el espesor mínimo de la subzona IIIa resulta de:

$$1\,200 - 220 = 980 \text{ metros.}$$

La zona IIIa se extiende contigua a la zona II y constituye la porción de la zona de protección III, más próxima a las lagunas de la salina. El resto de la zona III, está constituida por la subzona IIIb, que resulta la zona de protección más alejada de las lagunas. (Figura 2)

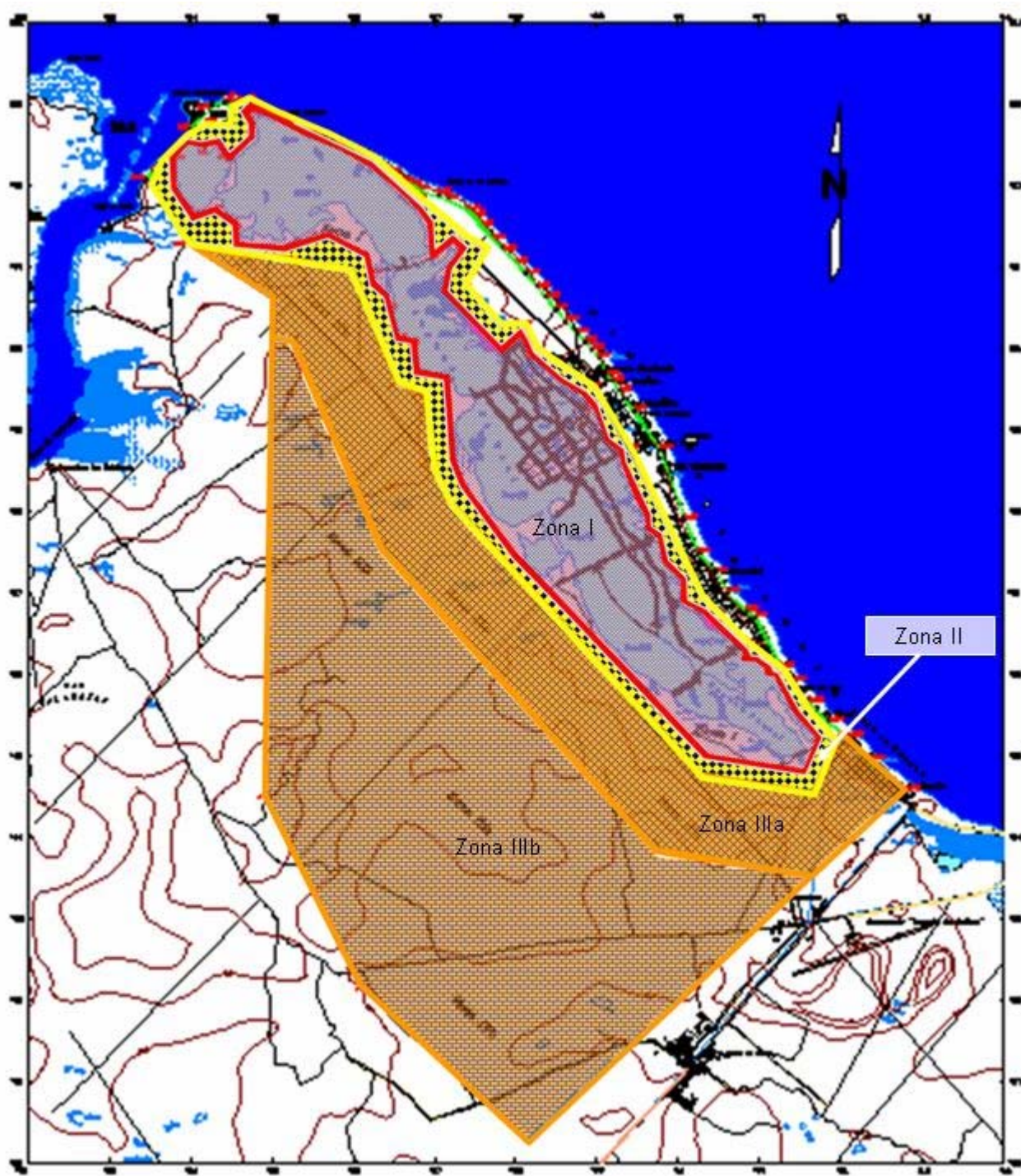


Figura 2 Delimitación de las zonas de protección sanitarias

CONCLUSIONES

Zona I se prohíbe:

1. La construcción de edificaciones ajenas a la actividad salinera.
2. El acceso peatonal no controlado, la circulación y parqueos de vehículos automotores ajenos a la actividad salinera.
3. No se admite la construcción de canales,
4. No se permite el riego químico
5. Se prohíbe la dispersión de pesticidas y otros productos tóxicos por medios manuales o automotores. Se permite el uso discrecional con medios de aspersión en el área turística al norte de la Salina.
6. Construcción de pozos de recarga para la evacuación de residuales urbanos tratados, evacuación de aguas residuales industriales, crudas o pretratadas, y evacuación de aguas pluviales
7. Descargas de efluentes superficiales de residuales albañales, industriales o agroindustriales, de hospitales, clínicas estomatológicas, ya sean crudas o pretratadas
8. Descargas de ríos, arroyos y canales con aguas contaminadas.
9. Depósitos y acumulaciones de desechos sólidos como abonos, pesticidas y/o productos tóxicos, chatarras, de excretas humanas y/o de animales sobre la superficie del terreno.

10. Realizar labores agrícolas con uso de fertilizantes inorgánicos, pesticidas y/o productos tóxicos, drenaje de campos agrícolas mediante pozos u otros procedimientos de infiltración.
11. Tráfico y maniobras militares y campos de aviación, movimiento masivo de vehículos y personas, conducción de hidrocarburos, movimiento de ganado de todo tipo.

Regulaciones de Manejo:

12. En estas zonas los materiales de la red de alcantarillado deben cumplir con los requerimientos de resistencia al sol, al medio salino y agresividad del efluente. Se excluye el soterramiento y el vertimiento en cualquiera de las zonas. El trazado en la zona I requiere de evaluación y autorización expresa de la Salina
13. En las zonas II y III se permite la construcción de instalaciones de servicios (incluye alojamiento turístico), las que deben evacuar sus residuales al alcantarillado, disponer de drenaje pluvial y evacuar los residuales sólidos fuera de las tres zonas
14. Las instalaciones industriales y productivas no contaminadoras de la atmósfera y el suelo, solo podrán estar localizadas en la zona III, y poseer plantas de tratamiento de las aguas residuales y evacuar sus efluentes fuera de estas
15. En la zona III solo pueden ser ubicados asentamientos humanos, los que deben poseer red de alcantarillado con sistema de tratamiento y solución de drenaje pluvial.
16. Los depósitos de hidrocarburos no podrán localizarse en la zona I, y en la II y III la autorización estará condicionada al volumen y cumplimiento de las normas de diseño, seguridad y riesgo
17. En las tres zonas se permite la construcción de carreteras y caminos, aunque las localizadas en la Zona I deben tener autorización expresa de la Salina
18. Las tres zonas excluyen la localización de cementerios.
19. Los pozos de recarga solo pueden ser ubicados en la zona III, si la recarga se realiza con residuales líquidos tratados, estos pozos deben poseer filtros que eviten el paso de sólidos. No se admite el vertimiento de residuales crudos.
20. En las tres zonas se prohíbe la descarga de aguas residuales tratadas o no a cauces naturales o canales.
21. En las tres zonas se prohíbe el almacenamiento, depósito o uso temporal de fertilizantes, pesticidas, herbicidas, productos químicos u otros tóxicos. Solo en la III se admite el uso de fertilizantes orgánicos.
22. Los vertederos de ser imprescindible su ubicación, solo se admitirán en la zona III y deben poseer piso impermeabilizado, sistema de clasificación y reciclaje y no desechos peligrosos.
23. En las tres zonas se prohíbe la dispersión mediante vuelos aéreos de pesticidas y otros productos tóxicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia de Ciencias de Cuba – Bulgaria. 1991. Resultados de las investigaciones y levantamiento geológico a escala 1:250 000 de las provincias Ciego de Ávila – Camaguey – Las Tunas. La Habana.
- Alemán Trotman I., Eterio López, Bárbaro Gallego, 1998. Informe sobre el estudio geólogo ambiental integral del municipio Nuevitas. Empresa Geominera Camagüey.
- Comité Estatal de Normalización, 1990. Procedimiento de cálculos para la determinación de la zona de protección sanitaria. NC: 93 – 01 – 209. La Habana.
- Custodio Grimea Emilio, Manuel R. Llamas Madruga. 1983. Hidrogeología subterránea. Segunda edición. Ediciones Omega SA. Barcelona. España.
- Gonzalo Báez Arturo, Sigilfredo Jiménez Hechevaría. 1988. La protección sanitaria de los acuíferos cársicos cubanos, un problema actual. Revista Voluntad Hidráulica No.78 Instituto de Hidroeconomía. La Habana.
- Oficina Nacional de Normalización. 1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. NC 27. La Habana.
- Pérez Monteagudo Fernando. Ambar Menéndez Gómez. Osvaldo Pérez Martínez. 1998. Experiencias en el cálculo de la distancia de protección sanitaria en las fuentes de abasto subterráneas de las provincias Ciudad Habana y Matanzas. C.I.H., I.S.P.J.A.E. La Habana.
- Plata Bedmar A. 1986. Trazadores artificiales del agua. Curso itinerante sobre hidrología isotópica. I.N.R.H., O.I.E.A. La Habana.

- Romero Sánchez Juan, Francisco Elías. 1991. Informe sobre la evaluación de los fangos medicinales y las aguas madres de la salina El Real, Santa Lucia. MINBAS. Camagüey.
- Sánchez Torres Guillermo. 1995. Protección sanitaria de obras de captación de agua subterráneas. Primer taller de arquitectos e ingenieros al servicio del medio ambiente. Arinsema 95. Casa U.N.A.I.C.C. Camagüey.
- Sánchez Torres Guillermo, Ricardo Serrano Pérez. 1998. Informe de las investigaciones hidrogeológicas para la evacuación de residuales tratados al sur de la playa Santa Lucia. E.I.P.H. Camagüey.
- Skavalanovich Y. 1980. Cálculos hidrogeológicos (idioma ruso). Moscú.
- Uchitel A. 1973. Estudio hidrogeológicos Santa Lucia (anexos gráficos). Grupo Hidráulico del D.A.P. Camagüey.