

Titulo: Metodología práctica para identificación de potencialidades de Recarga Hídrica a nivel Local.

Autores: MSc Marta Paula Ricardo Calzadilla, Dr. Julián Herrera Puebla, MSc Yulaidis Aguilar Pantoja, MSc. Félix Nabor González. Ing. Leonardo Flores. MSc Candelario Alemán. MSc. Delbby García Capote. MSc. Amado Luís Palma Torres.

Cuba cuenta con una voluntad hidráulica de más de 50 años; sin embargo a nivel local no existen herramientas simples para identificar, delimitar y proteger de manera precisa las áreas prioritarias de recarga hídrica, para ello se requiere de estudios hidrogeológicos especializados, que muchas veces no están dentro de las posibilidades económicas de las comunidades de una microcuenca o subcuenca. Sobre la base de una amplia búsqueda bibliográfica realizada se escogió la Metodología práctica que se presenta. Para validarla a escala de trabajo se llevaron a cabo diagnósticos integrales de indicadores biofísicos y mapas temáticos, así como criterios de expertos. Lo que permitió evaluar en 5 sistemas agro productivos de la Cuenca del Cauto y Llanura Habana Matanzas las potencialidades de recarga hídrica natural, a través de un modelo de ponderación que incluye cada uno de los elementos que influyen en la recarga para analizar e identificar las zonas potenciales para la captación de agua, lo que facilita la protección y conservación de los acuíferos, mejorar su disponibilidad y calidad y fortalecer los servicios hidrológicos del ecosistema. Esta metodología constituye una herramienta útil y de bajo costo para la gestión y evaluación de los recursos hídricos, por lo que se propone su uso como herramienta de evaluación y certificación a incorporar en el Manual de Procedimiento para declarar áreas bajo Manejo Sostenible de Tierras.

Palabras Claves: recarga hídrica, Manejo sostenible

Introducción.

El conocimiento de la recarga potencial al acuífero y la identificación de las áreas de mayor aporte en una cuenca hidrográfica, constituyen elementos fundamentales para ejercer sobre ellas una adecuada gestión ambiental, pues el desarrollo económico y social de un territorio transita por su crecimiento demográfico, desarrollo industrial y agropecuario entre otros, además, proporciona indicadores de sobreexplotación, descargas y de contaminación.

Se conoce como recarga hídrica natural, al proceso por el cual se incorpora a un acuífero, agua procedente del exterior, durante un periodo de tiempo a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua, además se define este fenómeno como un proceso por el cual el exceso de agua por infiltración sobre la evapotranspiración drena desde la zona radicular y continua circulando en dirección descendente a través de la zona no saturada, hasta la capa freática (Faustino, 2011).citado por Rodríguez en el 2014.

Las áreas de mayor recarga son de gran importancia y se deben conservar y manejar, a fin de mantener bajo control sus características físicas de permeabilidad e infiltración, ya que estas afectan la magnitud de la recarga, y dan paso a contaminantes que se infiltran al acuífero y dañan la calidad de sus aguas.

En este contexto general, las zonas de recarga y el proceso mismo de recarga de las aguas subterráneas son cada vez más importantes, estratégicamente, como alternativa para atender la demanda del recurso. Sin embargo, muchas de las prácticas que realiza el ser humano en actividades como la agricultura, la ganadería, la producción forestal, el desarrollo urbanístico, la industria, etc. alteran las características de las zonas de recarga hídrica, e interfieren con la infiltración del agua al erosionar, compactar, impermeabilizar y/o dejar descubierto el suelo. Como consecuencia, se incrementa el escurrimiento superficial y disminuye la recarga de los acuíferos, con lo que se reduce el nivel de las aguas subterráneas (acuíferos) y la calidad de las mismas, con frecuencia hasta niveles inadecuados para consumo humano y para otros usos como el riego. Para identificar y delimitar de manera precisa las áreas prioritarias de recarga hídrica se requiere de estudios hidrogeológicos especializados, que muchas veces no están dentro de las posibilidades económicas de las comunidades de una microcuenca o subcuenca. En cierta forma, el deterioro de las zonas de recarga hídrica y la disminución de la recarga se debe a que no se conocen los sitios en las cuales ocurre este proceso, ya que los actores locales u organismos responsables del manejo de las cuencas no disponen de metodologías prácticas para su identificación. El objetivo de esta investigación es encontrar una metodología práctica, de bajo costo y aplicación simple por parte de actores locales para identificar zonas potenciales de recarga hídrica. Esta metodología busca integrar el conocimiento técnico y científico con el conocimiento local de las comunidades.

Materiales y métodos.

Para el desarrollo del trabajo el estudio se llevó a cabo en dos áreas de intervención del programa la Cuenca del Río Cauto por ser esta una de las áreas de intervención del Proyecto y en la Llanura Sur Habana Matanzas

La Cuenca del Cauto (Figura 1) es la más grande del país (9.540 Km²), situada en su parte oriental, tiene una altura media de 93.8 m.s.n.m. y 343 Km de recorrido en su cauce principal. La densidad de drenaje es de 0.7 Km/ Km². El área de estudio comprende a las provincias de Granma, con superficie dentro de la cuenca de 3.281 Km², Santiago de Cuba, 2.943 Km², Holguín, 2.685 Km² La menor extensión pertenece a la provincia Las Tunas con 631 Km².

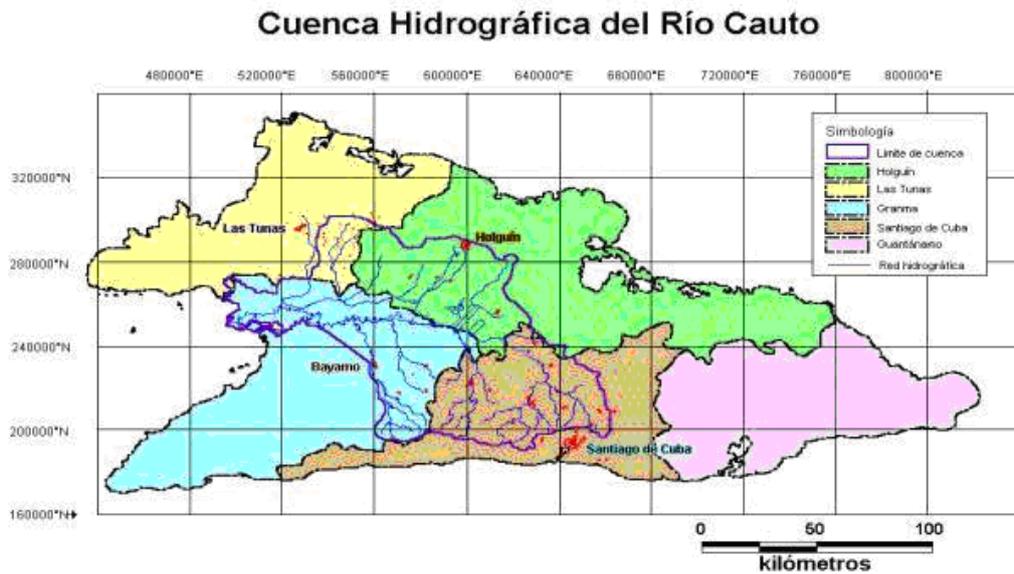


Figura 1

Los suelos en las llanuras bajas son utilizados para la siembra de arroz, tabaco, viandas, vegetales y granos fundamentalmente, así como para el pastoreo de la ganadería, esta zona tiene el inconveniente de inundarse en la época de mayor pluviosidad (Mayo – Octubre), debido a que el manto freático está muy cercano a la superficie del terreno, al mal drenaje de los suelos que predominan en la cuenca.

La zona montañosa está comprendida en el macizo de la Sierra Maestra y las alturas de Holguín. La erosión potencial es muy severa dadas las pendientes abruptas que presentan. El uso inadecuado de sus suelos y una explotación incorrecta de sus áreas boscosas ha sido la causa fundamental de un proceso de alteración negativa en sus suelos

El agua subterránea es escasa en los territorios de las provincias de Santiago de Cuba, Holguín y Las Tunas. En Granma su uso está seriamente afectado por la salinidad de origen geológico. El agua subterránea está evaluada en 405 hm³ y los gastos y caudales de entregas generalmente son inferiores a los 50 l/s.

Llanura Habana Matanzas

Esta llanura es de vital importancia para el desarrollo productivo de la capital, su selección proporciona la implementación de prácticas de Manejo Sostenible de las Tierras como un modelo de desarrollo de manejo sostenible de los recursos naturales y la conservación de las reservas de agua subterráneas, el mejoramiento de las áreas de captación y la capacitación de los actores en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos(GIRH).

Se trata de una llanura, situada entre los 20 y 40 m snm, con pendientes que no sobrepasan el 3%.

Gran parte del área está ocupada por suelo Ferralítico Rojo, cuyas características físicas naturales favorecen el desarrollo de las plantas; sin embargo, bajo la influencia antrópicas se

ha desarrollado un proceso de compactación, el cual provoca disminución brusca de la permeabilidad y de la actividad biológica, entre otros males. Son de textura arcillosa, pero predominan las arcillas de tipo 1:1, por lo cual su capacidad de retención de agua y de nutrientes, es relativamente baja. Sobre base carsica.

La vegetación natural, prácticamente en su totalidad, ha sido sustituida por cultivos agrícolas y por pastos, tanto naturales como cultivados. Como consecuencia, ha disminuido, considerablemente, la cubierta vegetal de los suelos y el aporte de materia orgánica a los mismos. La incidencia directa de la radiación solar sobre la superficie, acelera la mineralización de la materia orgánica.

Los principales pasos del desarrollo del trabajo consiste en seleccionar la metodología práctica y de bajo costo adecuada para la valoración de las zonas de recarga y para ello se realizó una recopilación de información y revisión de literatura acerca de los diferentes métodos técnicos y científicos que se utilizan para la determinación de la recarga e identificación de zonas de recarga hídrica.

El producto de este proceso fue la selección de la propuesta metodológica utilizada por Matus en el 2009 para este tipo de estudio. (1)

Donde cada uno de los elementos que integran el modelo propuesto se evalúa a través de métodos prácticos y de fácil uso por los actores locales, en todas las zonas identificadas teóricamente en el paso anterior. El modelo propuesto está formado por los siguientes elementos

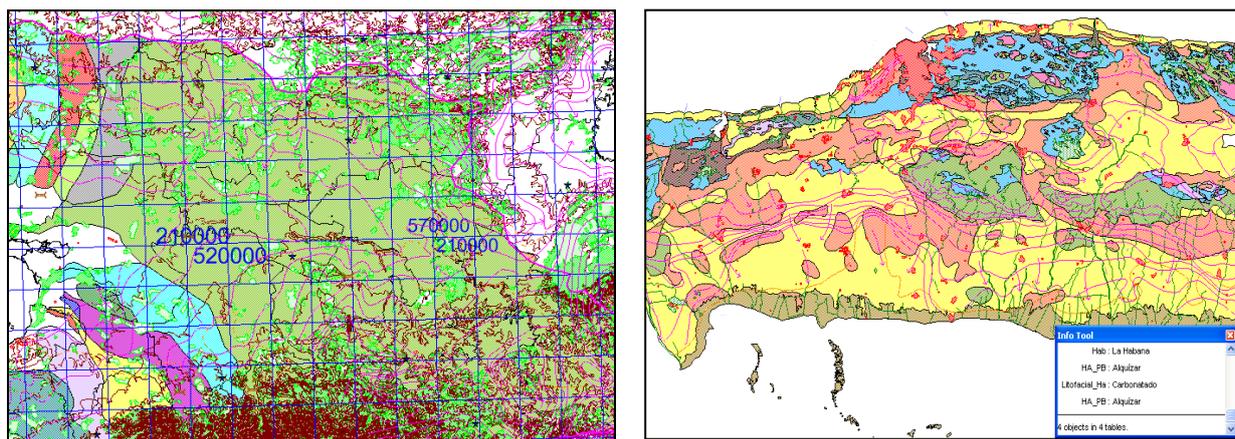
- Pendiente y micro relieve (Pend)
- Tipo de suelo (Ts)
- Tipo de roca (Tr)
- Cobertura vegetal (Cve)
- Uso del suelo (Us)

$$ZR = (0.27 * (\text{pend}) + 0.23(Ts) + 0.12(Tr) + 0.25 *(CV) + 0.13(Us) \quad (1)$$

Resultado y Discusión

En cada uno de los sitios escogidos en Cuenca del Río Cauto y en las cuencas HS3 y HS4 en la llanura Sur Habana Matanzas. A partir del conocimiento de los actores locales, y la participación de expertos se elabora un mapa y se localizan las principales fuentes de agua. Se trazan las hidroisohipsas para conocer la dirección del flujo del agua. Este es el punto de partida para la identificación de las zonas potenciales de recarga.(Figura 2)

FIGURA 2



Dirección del Flujo Cuenca del Cauto

Dirección del Flujo Llanura Habana Matanzas

Una vez localizadas las fuentes de agua se procede a realizar un análisis teórico de las posibles zonas de recarga (junto con los actores locales) aguas arriba de las fuentes en los cuadrantes dentro de las cuencas de estudio donde el proyecto tiene sus áreas demostrativas. Para ello se identifican los lugares que teóricamente tengan las características de una zona de recarga (pendiente suave, suelo permeable, roca porosa, buena cobertura vegetal, usos del suelo con prácticas que favorecen la infiltración), y luego se evalúa cada uno de los elementos del modelo propuesto. Para ello se escogieron sitios Pilotos.

Sitio demostrativo 1 CCSF Hermes Rondón. Cuenca del Cauto. Municipio Río Cauto, Provincia Granma

La CCSF Hermes Rondón se encuentra ubicada en el consejo popular de las 1009, del municipio de Río Cauto, provincia Granma a $20^{\circ} 41'.991N$ y $76^{\circ} 54'.711 E$. Limita por el sur con la UBPC La Gloria, por el norte con la provincia de las tunas, por el este con la UBPC el 14 y medio y por el oeste con la granja arrocera Puente Guillen y la UBPC Celia Sánchez Manduley. Suelos

Los suelos predominantes son del tipo oscuro plásticos (suelos vérticos), de muy mal drenaje interno debido a su alto contenido de arcillas del tipo smectitas y superficial ocasionado por el relieve totalmente llano del área. El 36% del área está afectada por la salinidad producto de la presencia de un manto freático salino, a no más de 2 m y constantemente recargado por el riego con muy poca eficiencia que se practica en el área y la falta de una red de drenaje con adecuado mantenimiento.

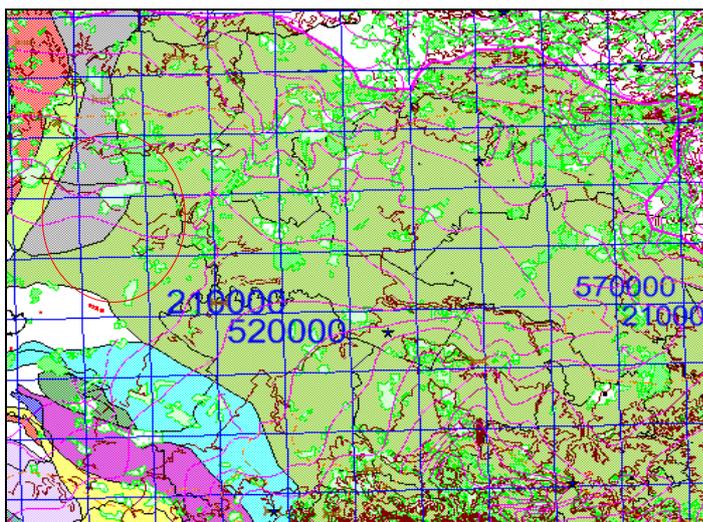
Uso del suelo

Cuenta con un área bajo cultivo de aproximadamente 4000 ha, que en los inicios de su fundación se dedicaba totalmente al cultivo de la caña de azúcar. En la actualidad solo el 41 % del área se dedica a este cultivo (1652 ha), mientras que 1882 ha son cultivadas con arroz (47 %) y el resto a cultivos varios y ganadería.

Del total del área bajo cultivo, 1449 ha están afectadas por la salinidad (36 %) y de ellas corresponden 1046 ha al área cultivada con arroz y 402 a caña de azúcar.

Relieve

Según el mapa topográfico 1:250 00 el área se puede calificar de llana a muy llana donde las pendientes son muy poco pronunciadas y en su mayoría se encuentran alrededor de 1 %. A pesar de ello, en los campos existen depresiones y elevaciones considerables que provocan, sin el alisamiento adecuado, un incorrecto manejo del agua, tanto para el riego como para el drenaje.



Geología

La formación predominante es la Cauto. Esta formación está constituida por arenas arcillosas y arenas cascajosos, con intercalaciones de limos, gravas y conglomerados.

Las capas litológicas son de color gris, gris parduzco y amarillo grisáceo. Las arenas van de granos finos hasta granos gruesos y casi siempre contienen arcillas; en ocasiones exhiben una patina negra ferromangánica. El grosor es muy variable ya que las capas forman lentes de diferentes tamaños, desde algunos metros hasta decenas. Facialmente se sustituyen en forma mutua, creando un corte litológico muy variado. Las facies de estos depósitos es aluvial, a veces con influencia fluvio marina (interrelaciones arcilla y arenas arcillosas).

Sitio demostrativo 2. CCSF General Ramos. Municipio Bayamo. Provincia Granma

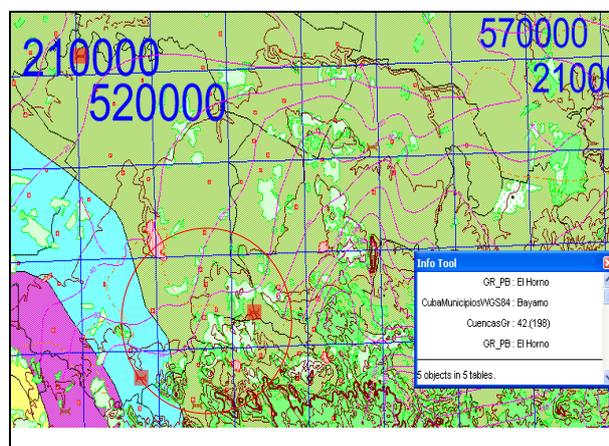
Unidad productiva CCSF General Ramos con una superficie de 302.24 ha, ubicado en el Consejo Popular el Horno a 19° 24' N y 74° 42' W en la porción sur-este del Municipio Bayamo provincia Granma. conformada por 82 fincas, perteneciente a la empresa Acopio, beneficio y torcido de Tabaco.

Suelos.

Los suelos presentan degradación por erosión, profundidad efectiva y baja fertilidad entre otros. Un 84.6 % de los suelos son del tipo Fersialíticos y Pardos Rojizos, un 8.2 %, Pardos Sialíticos y 7.2 % Lithosol.

Relieve

Presentando una topografía desde llana a fuertemente ondulada.



Vegetación.

De forma general se encuentra deforestada producto de la utilización de las áreas para el cultivo principal que es el plátano y para la siembra de cultivos varios. Las especies que anteriormente se encontraban en la zona eran las típicas de la vegetación de sabana: Malagueta, Baga, Guanábana, Mamoncillo, Algarrobo, Roble, Arabo.

Geología

La formación predominante es la Bayano. Esta formación está constituida por arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas, arenas y guijarros con intercalaciones de limo, gravas y gravas guijarrosas. La litología formada por calizas órgano detríticas calcificadas.

Sitio demostrativo 3. CCS “Cuba Va”. Municipio Majibacoa, Provincia Las Tunas.

A esta área se puede acceder a partir del kilómetro 707 de la carretera central Las Tunas – Holguín (Majibacoa), se encuentra a 20°.55'latitud Norte y 76°51' de Longitud Oeste.

Uso del suelo

Cuenta con 625 ha dedicadas a la actividad agrícola de ellas 365 ha a los cultivos varios, 90 ha a frutales, 17 ha de caña, 8ha a hortalizas y 145 a la actividad ganadera. Las potencialidades de los recursos forestales son escasas con serios problemas de degradación de la vegetación autóctona (Bosques de galería, presencia de especies exóticas invasoras).

Suelos

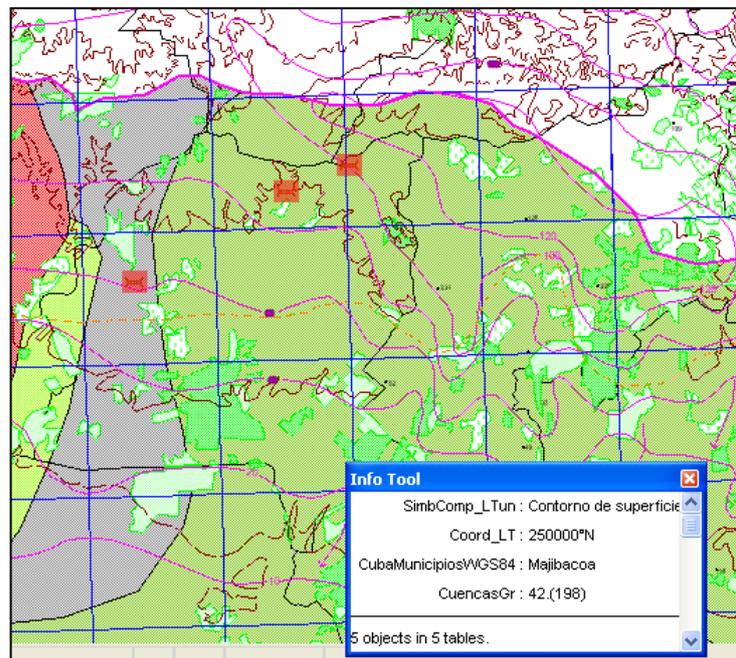
Tipos de suelos: Pardos Grisáceos (78%), Pardos con Carbonatos (8%) y Fersialíticos (14%)

Relieve

Presenta topografía llana.

Vegetación

Escasa cobertura forestal y deteriorada en fajas hidrorreguladoras de ríos y embalses, con presencia de especies exóticas invasoras como la Inga y el Marabú este último cubre más de 60ha del patrimonio de la CCS.

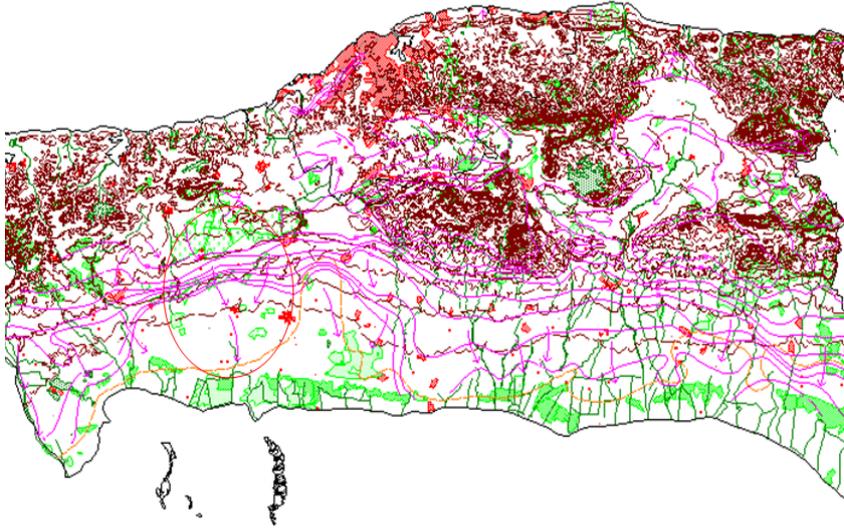


Geología.

Formaciones geológicas Hatico, con bloques de serpentinitas, calizas e intercalaciones de tobas; Vigía de areniscas, tobas y margas. (Sánchez-Sánchez 2013)

En la Llanura habana Matanzas se llevó a cabo en los sitios.

Sitio demostrativo 4. UCTB Experimentación de Campo “Pulido” Alquizar, provincia Artemisa



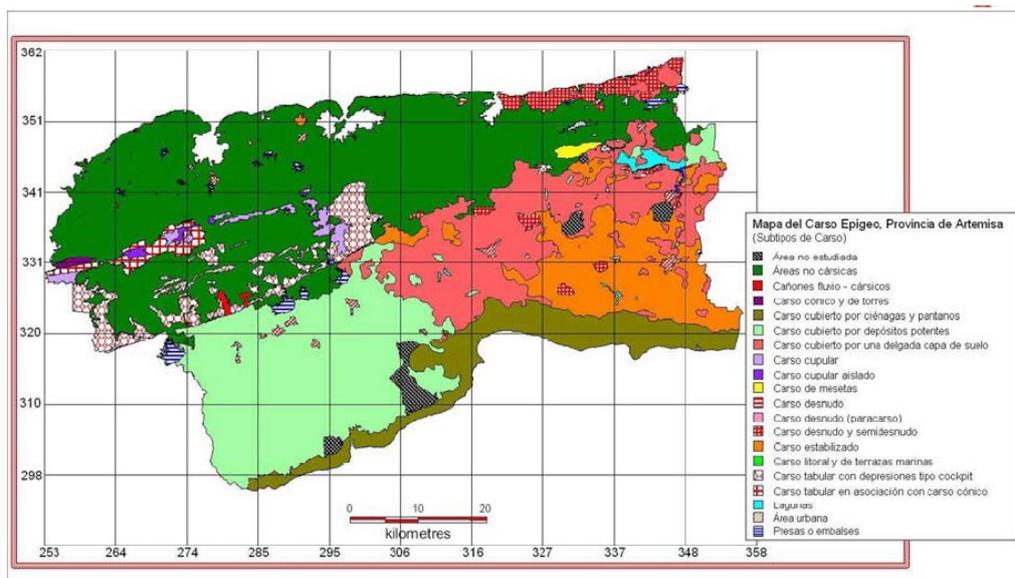
La UCTB Experimentación de Campo del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), ubicada en la localidad de “Pulido” Alquizar, provincia Artemisa, situada en los 22° 46' 48,76" de latitud Norte, y 82° 36' 0,36" de Longitud Oeste y una altitud de 8 m sobre el nivel del mar.

Suelo y Relieve

El suelo en la estación es Ferralítico Rojo Compactado (Nitisol Ródico Eútrico Arcilloso según la clasificación World Reference Base (WRB, 2006)), con topografía llana.

Geología

La UCTB Experimentación de Campo del IAgric “Pulido” como se aprecia en la figura está sobre un Carso cubierto por depósitos potentes con un bajo peligro geológico. (Jaimez 2013) con fragmentos de rocas y rocas calizas, cavernosas de la formación Güines según el estudio llevado a cabo en la estación interpretado a través de las curvas del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).



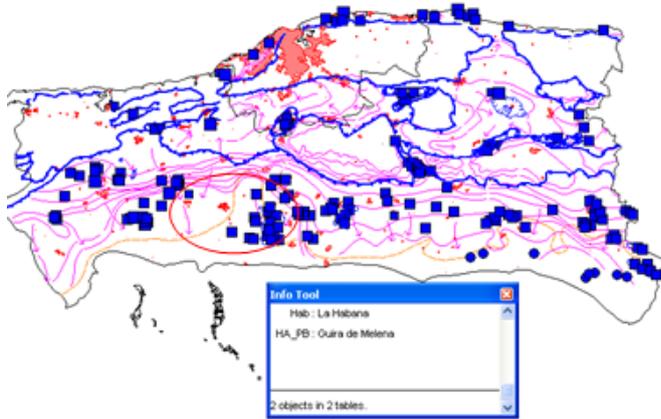
Geología de la Provincia Artemisa (Jaimez 2013)

Cobertura vegetal.

El 60 % del área se encuentra dedicada a la siembra de cultivos varios con escasa cobertura forestal.

Uso del Suelo

Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua.

Sitio demostrativo 5 Empresa Agropecuaria Güira de Melena

La Empresa Agropecuaria Güira de Melena ubicada en el territorio del municipio Güira de Melena se encuentra en el occidente de Cuba en su faja más angosta, de unos 32 km de costa a costa, en provincia de Artemisa. Su centro geográfico está en los 22° 47' de latitud norte y 82° 31' de longitud oeste, dentro de la llanura Habana Matanzas. Limita al norte, este y oeste con importantes zonas agrícolas y al sur con una franja de ciénagas costeras de 5 Km de ancho que la separa del mar Caribe. .

Relieve

La región se caracteriza por una llanura cársica de relieve estable con pendientes de 2 a 3‰.

Suelos

Los suelos son Ferralíticos considerados como los más productivos de Cuba. De acuerdo a la clasificación del país son del tipo Ferralítico Rojos Típico Ferralítico Rojo Hidratado y Ferralítico Rojo Compactado; con profundidades del perfil del suelo de 234, 262, 226 cm respectivamente que según el triángulo textural (Manual N° 60 Riverside) se clasifican como arcillosos. tienen pH de 5 a 7, buen drenaje interno y un contenido de materia orgánica entre 1 y 3%; aptos para gran cantidad de cultivos.

Geología

Toda la zona está situada sobre un acuífero cársico sobreexplotado y abierto al mar. Presenta graves síntomas de contaminación, debido a la intrusión salina, por lo que requiere de un cuidadoso manejo.

Uso del suelo

Güira de Melena garantiza el 85% de la producción de viandas y vegetales de la producción agrícola que abastece la Ciudad de la Habana. En ella se siembra el 50-55% de la producción de papa del país, es además, importante productora de banana, batata, ajos y otras hortalizas, maíz, frijoles y frutales.

Al analizar cada uno de los componentes del modelo utilizado en los sitios escogidos, para evaluar las zonas de recarga, como se puede apreciar en la Tabla 1, juegan un papel importante en la recarga de la Cuenca del Cauto los sitios 2 y 3 ubicados en el municipio Bayamo y Majibacoa con valores de ponderación superiores a 3.5 lo que indican una alta posibilidad de recarga, no así el Sitio demostrativo ubicado en el Municipio Río Cauto donde la ponderación indica una baja posibilidad de recarga. Mientras que en la Llanura Habana Matanzas el sitio 4 ubicado en UCTB Experimentación de Campo del IAgriC "Pulido" en Alquizar tiene una muy alta potencialidad como zona de recarga del acuífero del Sur de la Habana, y el sitio 5 ubicado en el Güira de Melena, una alta potencialidad.

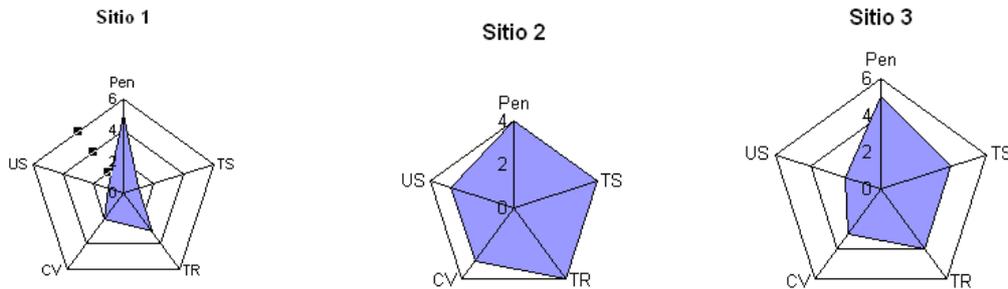
Por lo que estos resultados son de vital importancia en el ordenamiento ambiental de las áreas de intervención, decisivos a la hora de ubicar los diferentes tipos de uso del suelo ya que permite proteger los acuíferos involucrados.

Tabla 1 Potencial de recarga en los sitios estudiados de Cuenca del cauto y Llanura Habana Matanzas.

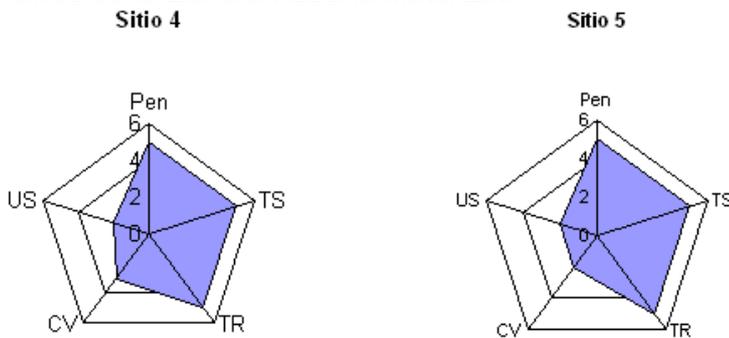
Cuenca del Río Cauto						
Municipio/Sitio	Pen	TS	TR	CV	US	Zr
Río Cauto "Hermes Rondon"	5	1	3	2	1	2,57
Bayamo "El Horno"	4	4	4	3	3	3,62
Majibacoa "Cuba Va"	5	4	4	3	2	3,76
Llanura Habana Matanzas						
UCTB Experimentación de Campo "Pulido" Alquizar	5	5	5	3	2	4.11
Empresa Agropecuaria Güira de Melena	5	5	5	2	2	3.86

Al analizar el comportamiento de las potencialidades de recarga a través de los gráficos radiales 1.2.3.4 y 5; de los diferentes elementos o variables que integran el modelo de ponderación en cada sitio demostrativo, se puede apreciar en cada caso las aristas más vulnerables. Reflejando mayores dificultades en las zonas de mayor potencialidad de recarga, los elementos usos del suelo y cobertura vegetal. Por lo tanto en las zonas de alta potencialidad de recarga es posible mejorar la capacidad de protección a través de un plan de manejo que fortalezcan las acciones en función del incremento de la cobertura vegetal y las medidas de conservación del suelo. Lo que facilita la protección y conservación de los acuíferos, mejorar la disponibilidad y calidad del agua y fortalecer los servicios hidrológicos del ecosistema.

Sitios Cuenca del cauto

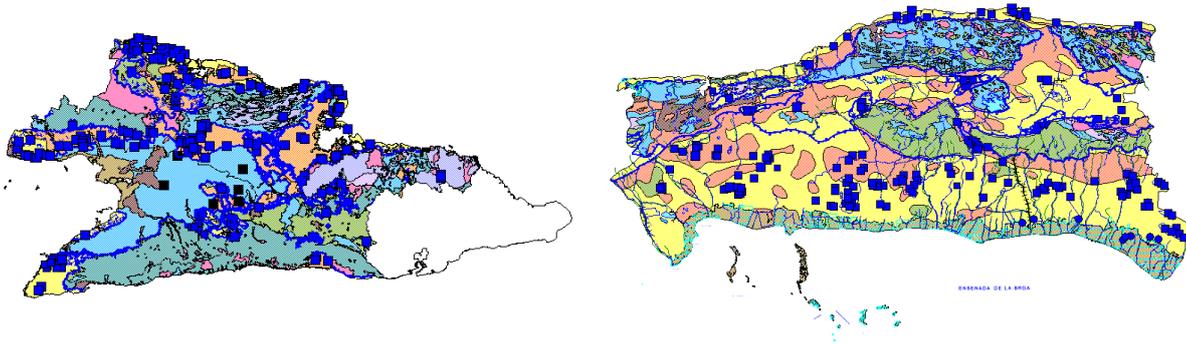


Sitios de la Llanura Habana Matanzas



■

Al comparar estos resultados con los mapas hidrogeológicos obtenidos por Flores en el 98 podemos apreciar que existe un alto grado de coincidencias en cuanto a importancia de los sitios estudiados en la recarga hídrica;



Flores 1998.

Conclusiones.

1. La metodología utilizada es de aplicación simple y de gran utilidad para determinar zonas de recarga por parte de actores locales.
2. Los sitios 2 y 3 ubicados en el municipio Bayamo y Majibaco de Cuenca del Cauto representan una alta potencialidad como zonas de recarga dentro de la cuenca con valores de ponderación superiores a 3.5.
3. El sitio ubicado en el municipio Río Cauto presenta una baja potencialidad de recarga.
4. La estación Experimentación de Campo del IAgriC "Pulido" presenta una muy alta potencialidad de recarga sobre el acuífero de cuenca Sur.
5. La Empresa Agropecuaria Güira de Melena presenta una alta potencialidad de recarga sobre el acuífero de cuenca Sur.
6. El uso y manejo adecuado del suelo y el incremento de la cobertura vegetal mejoraran las condiciones de recarga de las zonas con alta potencialidad .

Recomendaciones

Usar el modelo en la determinación de zonas de recarga dentro de los sitios demostrativos de los proyectos y polígonos de agua suelo y bosque.

Incluir este resultado en el Manual de procedimiento para declarar áreas bajo MST.

Anexos

Vegetación y acuífero carsico Cuenca del Cauto INRH 98

Cuadro 1. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según

Pendiente y microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelo plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 – 6	Muy alta	5
Suelo moderadamente ondulado/cóncavo	6 – 15	Alta	4
Suelo ondulado/cóncavo Moderada	15 – 45	Moderada	3
Suelo escarpado	45 – 65	Baja	2
Suelo fuertemente inclinado	> 65	Muy baja 1	1

Cuadro2: Ponderación de la capacidad de recarga Hídrica del suelo según su Textura

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación

Suelo franco arenoso a arenoso, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios y muy rápida capacidad de infiltración (mayor de 25 cm/h)	Muy alta	5
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados;	Alta	4
Suelo franco limoso, piedra pómexa de tamaño medio	Muy alta	5
Rocas y rocas duras a moderadas, con cristales o agregados de mediana (2 a 0,2, inter) conectados, con poca cementación;	Moderada	3
Suelo franco arcilloso combinación de limo y arcilla,	Alta	4
Rocas moderadamente pesadas, con regular interconexión de poros a moderadamente lenta	Moderada	3
Rocas poco infiltrables, (0,13 a 2 cm/h) moderadamente	Baja	2
Suelo pesado, muy pesados, con partículas muy finas y moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (menor de 0,13 cm/h), grava combinada con arcilla.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas;	Muy Baja	1
Suelo franco arenoso a arenoso, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios y muy rápida capacidad de infiltración (mayor de 25 cm/h)	Muy alta	5
Suelo franco, con partes iguales de arena, limo y arcilla y rápida capacidad de infiltración (12,7 – 25cm/h)	Alta	4
Suelo franco limoso, con partículas de tamaño medio a finas y moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 – 12,7 cm/h)	Moderada	3
Suelo franco arcilloso, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación y lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 – 2 cm/h)	Baja	2
Suelo arcilloso, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menor de 0,13 cm/h)	Muy Baja	1

Cuadro 3. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca

Cuadro 4. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal

Porcentaje	Posibilidad de recarga	Ponderación
> 80%	Muy alta	5
70 – 80%	Alta	4
50 – 70%	Moderada	3
30 – 50%	Baja	2
< 30%	Muy baja 1	1

Cuadro 5. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica de acuerdo al uso del suelo

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque que presentan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo	Regular	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación	Baja	2

de suelo y agua		
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo 1	Muy baja	1

Cuadro 6 Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto.

Posibilidad de recarga	Rango
Muy alta	4,1 - 5
Alta	3,5 – 4,09
Moderada	2,6 – 3,49
Baja	2 – 2,59
Muy baja	1 – 1,99

Bibliografía.

1. Blanco Rojas, H. (2009). Identificación de las áreas de recarga hídrica en la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, Tesis de Maestría. Costa Rica.
2. Flores Valdez E y Colaboradores INRH 2000. Informe Hidrogeología de Cuba. INRH Cuba. Mapas en Mapinfo del informe.
3. Informe técnicos de Expertos locales. 2013
4. INAB (Instituto Nacional de Bosques). (2003). Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala. 106 p.
5. IPF.2012 Síntesis del Diagnóstico de la Cuenca del Río Cauto.
6. Lora Borrero B (2000). Catalogo de Cuencas (Cuenca del Cauto). INRH La habana. Cuba
7. Matus Óscar ; Jorge Faustino; Francisco Jiménez (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas: Aplicación Práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2009. Serie técnica. Boletín técnico no. 38 ISBN 978-9977-57-502-5
8. Rodríguez Lugo D. M; Dr. Pedro Pérez Álvarez (2014). Aqua-LAC - Vol. 6 - Nº 2 - Set. 2014. pp. 58 - 70
9. Jaimez. E., Campos Dueñas M, Gutiérrez. B P., Guerra O. M., Núñez L. M. (2013) Cartografía del Carso y escenarios de Peligros Geológicos en la Provincia de Artemisa. X CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA. Taller Carso. La Habana 2013.
10. Sánchez-Sánchez Y; Fernández de Miguel Constantino ; Rothenel S (2013) Caracterización hidrogeológica del Valle del Cauto, Cuba.