

CARACTERIZACIÓN KÁRSTICA Y EXPLORACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE POZOS PARA EL ABASTECIMIENTO AGROPECUARIO, MUNICIPIO DE RÍO SAN JUAN

Armando Suárez Rodríguez
Berenice Matías Marte
Denny Altagracia Saldivar Reyes

Resumen

El área objeto de estudio está enmarcada en un paisaje kárstico ubicado en el paraje Alto del Macao, sección Mata Puerco, Municipio de Río San Juan, provincia María Trinidad Sánchez. Debido a la gran importancia que poseen estos tipos de acuíferos, se ha considerado importante realizar este proyecto investigativo para poder obtener informaciones relevantes a cerca de este tipo de morfología y a la vez conocer cómo influye en la formación de acuíferos en la zona de estudio. Esta investigación estuvo basada en el diseño no experimental de tipo exploratoria y descriptiva, de enfoque mixto. Las técnicas que se utilizaron en esta investigación fueron: Análisis geológico y geomorfológico del karst, aplicación del método geofísico H/V (Tromino) para delimitar áreas de estructuras kársticas, la observación y reconocimiento de campo. Se determinó la presencia de múltiples dolinas y uvalas, están compuestas de rellenos residuales, se ubican como puntos de inundación, sirviendo estas como lagunas temporales en los meses más lluvioso del año y otras permanentes

en las estaciones seca, lo que corrobora que estamos en un área almacenadora de agua. Se determinó que la karstificación se extiende de manera superficial en todo el perímetro del área de acuerdo a las manifestaciones presente, en cambio a profundidad no se pudo delimitar la estructura. El método geofísico H/V no permitió dar con precisión los límites de la estructura kárstica, debido a la poca frecuencia en el suelo, no hay amplificación.

Palabras Claves: Paisaje kárstico, morfología, formación de acuíferos, geomorfológico del karst, dolinas y uvalas, karstificación, estructuras kársticas, litologías calcáreas (calizas), mogote kárstico.

ABSTRACT:

The area under study is framed in a karstic landscape located in Alto de Macao, section Puerco Mata, Municipality of Río San Juan, province Maria Trinidad Sánchez. Due to the great importance of these types of aquifers, it has been considered important to carry out this research project in order to obtain relevant information about this type of morphology and at the same time to know how it influences the formation of aquifers in the study area. This research was based on the non-experimental design of an exploratory and descriptive, mixed-focus type. The techniques used in this research were: Geological and geomorphological analysis of Karst, application of the H / V (Tromino) geophysical method to delimit areas of karst structures, observation and field recognition. The presence of multiple dolinas and uvalas were determined, they are composed of residual fillings, they are located as flood points, serving as temporary lagoons in the raini-

est months of the year and other permanent ones in the dry seasons, which corroborates that we are in a Water storage area. It was determined that karstification extends superficially around the perimeter of the area according to the present manifestations, but in depth could not delimit the structure. The H / V geophysical method did not allow to give precise limits of the karst structure, due to the low frequency in the soil, there is no amplification.

Keywords: Karstic landscape, morphology, formation of aquifers, karst geomorphological, dolinas and uvalas, karstification, karst structures, limestone lithologies, karst mogote.

INTRODUCCIÓN

Los acuíferos kársticos son una importante fuente de recursos de agua potable, por lo general muy vulnerable a la contaminación, la cual puede penetrar fácilmente a través de sumideros, simas, dolinas o mediante su infiltración en el subsuelo, y viajar rápidamente por fracturas y conductos (Göppert & Godscheider, 2008).

El potencial hidrogeológico de la República Dominicana presenta un 60% de la disponibilidad de los recursos hídricos, donde el grado de presión sobre el recurso es del orden del 49% de la oferta hídrica, lo que manifiesta la importancia de este vital recurso y la necesidad de promover su protección y conservación (Rodríguez & Febrillet, 2006).

Según el artículo Acuíferos Kársticos Costeros, (Fernández, Baquero, Lorca, & Verdejo Serrano, 1986), los acuíferos kársticos costeros presentan gran interés

por sus importantes recursos y, frecuentemente, por ubicarse en zonas de gran demanda de agua. En estos acuíferos litorales tienen lugar procesos geoquímicos, que pueden acelerar el incremento de la permeabilidad secundaria, a través de disolución de conductos kársticos.

Para el presente estudio se ha seleccionado la Formación los Haitises, la cual ocupa la extensión del área del proyecto, esta formación se enmarca en la Unidad Hidrogeológica nº 5 de la Cordillera Septentrional, y de forma más concreta, a cabalgamiento entre sus subunidades de Sabaneta-El Choco, al oeste, y Cabo Francés-Guaconejo, al este, cuyas características están representadas por litologías calcáreas (calizas), con grado de permeabilidad muy alto debido a la karstificación y fracturación, lo cual genera acuíferos libres de muy alta productividad. Esta formación ha sido una de las más estudiadas en el país debido a las características expuestas, donde se ha reconocido su origen, características y disponibilidad (Gonzales R. A., 2010).

El caso tipo del área a evaluar es el mogote kárstico que es una manifestación geomorfológica particular de la zona intertropical de la tierra. El término “mogote” y sus derivados “mogote kárstico” o “karst de mogotes” está ampliamente extendido en la región Caribe y en América Central para identificar cerros o colinas de dimensiones de decenas de metros; regiones características son Chiapas y Yucatán en México, Los Órganos en Cuba, Puerto Rico y Cockpit en Jamaica. Conceptualmente, en la República Dominicana está el Promontorio de Cabrera que es un acuífero carbonatado. Los karst de mogotes se hallan representados en diferentes puntos del país entre la localidad de Imbert, en la cos-

ta septentrional, a la de Sabana de la Mar, al sur de la bahía de Samaná incluyendo la península del mismo nombre. Sin embargo sus manifestaciones no son equivalentes, y desde el turmkarst al oeste de Puerto Plata hasta el kuppenkarst de Río San Juan, pasando por los kegelkarst de Jamao, Samaná y Los Haitises, su extensión, posición y respuestas morfológicas son diferentes, aunque todos ellos dentro de un régimen climático hiperhúmedo como denominador común (Díaz & Cámara, 2003).

La estación San Juan, es un punto de aforo que se encuentra situado en el sector noroeste de la subunidad Cabo Francés-Guaconejo y controla las salidas que se producen a través del río San Juan antes de desembocar al mar. La mayor parte del cauce discurre sobre depósitos poco permeables constituidos por materiales metamórficos indiferenciados, rocas plutónicas y terciarios margos arenosos. El último tramo del río está drenando las calizas arrecifales pliocenas de la Cabrera, a la salida de las cuales, se encuentra el punto de aforo utilizado por el programa SYSMIN fase II (proyecto INDRHI-EPTISA, 2004), durante el estudio hidrogeológico de la cordillera septentrional. Según sus observaciones, la falta de un aforo a la entrada de dicho afloramiento, impide tener un dato diferencial con el que poder calcular los aportes generados como consecuencia del drenaje de dichos materiales.

En la zona sur de la subunidad existen ríos que drenan sus aguas hacia la Unidad Hidrogeológica (U.H) de Valle del Cibao (subunidad del Yuna), como son los ríos Quinigua y Cenoví, ambos de escasa importancia en cabecera. En esta zona se localiza uno de los manantiales inventariados durante el proyecto antes mencionado.

Por último, en la subunidad Cabo Francés-Guaconejo se identifica una red principal de cauces superficiales que desembocan en la zona oriental de la subunidad, con un eje principal oeste-este marcado por el río Boba, el más importante de la subunidad y en segundo término, por el río Baquí, también de gran importancia. Los ríos de esta zona discurren prácticamente en su totalidad por materiales permeables. El río Baquí drena el borde sur del afloramiento de las calizas arrecifales pliocenas (Plc) de la Cabrera, la unidad de mayor interés hidrogeológico de la U.H. de cordillera septentrional, así como los depósitos cuaternarios, mientras que el río Boba drena los materiales meridionales (Calizas arrecifales pliocenas del sur de la subunidad (Plc) y depósitos cuaternarios (Qa y Qal)). Este sector de la subunidad Cabo Francés-Guaconejo tiene una importante zona de regadío que aprovecha tanto las aguas superficiales como las subterráneas.

De acuerdo a (EPTISA, 2004) en el sector noroeste se observa una pequeña serie de ríos y arroyos (como el Caño Claro y el Caño Azul) de corto recorrido en dirección sur-norte, que discurren, fundamentalmente, sobre materiales poco permeables como son las rocas plutónicas (RPi), las metamórficas indiferenciadas (MTi) y los depósitos terciarios indiferenciados (Ti). En este sector, el río San Juan en su último tramo drena las calizas arrecifales pliocenas (Plc) de la Cabrera, donde se puede observar uno de los dos manantiales inventariados de la Cordillera Septentrional. Los ríos de esta subunidad son, en su mayoría, de naturaleza drenante o ganadora con respecto a los materiales permeables por los que circulan.

METODOLOGÍA

En esta parte se describen los pasos a realizar para la obtención de información en la caracterización kárstica y exploración hidrogeológica de pozos para el abastecimiento agropecuario, en el paraje Alto del Macao, sección Mata Puerco, Municipio Río San Juan, y la forma de presentación de los resultados.

Diseño de la investigación

Esta investigación se desarrolló bajo el diseño no experimental. Según el autor (Martins & Palella, 2010), define: El diseño no experimental es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto en este diseño no se construye una situación específica, se observa las que existen.

Tipo de investigación

El tipo de investigación que se realizó fue la exploratoria y la descriptiva. Según el autor (G. Arias, 2012) la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos.

Según el autor (Fidias, 2012) la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su

estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

Enfoque de la investigación

La investigación tiene un enfoque mixto. (Johnson & Onwuegbuzie, 2004) Definieron los diseños mixtos como el tipo de estudio donde el investigador mezcla o combina técnicas de investigación, métodos, enfoques, conceptos o lenguaje cuantitativo o cualitativo en un sólo estudio

Técnicas e instrumentos

Las técnicas que se utilizaron en esta investigación fueron: Análisis geológico y geomorfológico del karst, aplicación del método geofísico H/V (Tromino) para delimitar áreas de estructuras kársticas, la observación y reconocimiento de campo. El análisis geológico y geomorfológico se realizó tomando como base la memoria geológica y geomorfológica correspondiente al área de estudio.

El método geofísico H/V se realizó con el Tromino, el cual, es un instrumento sin cables externos, muy pequeño tamaño (10 x 14 x 8 cm), peso muy ligero (~ 1 kg), (ver en anexos), con un consumo muy bajo: alimentado por 2 baterías AA estándar (1,5 V); diseñado para logra el reconocimiento de la respuesta dinámica de subsuelos (frecuencias de resonancia, rigidez del subsuelo, etc.). El reconocimiento de campo se realizó mediante visitas en el área de interés.

Procedimientos

- 1) Se llenó un formulario para solicitud del tema de investigación.
- 2) Elaboración del instrumento
- 3) Se solicitó una carta al decano de la facultad para las visitas de campo
- 4) Se llevó a cabo un estudio general de la zona mediante la revisión de literatura, visitas de campo, análisis geológico y geomorfológico,
- 5) Con el uso del método geofísico HV (Tromino) se delimitaron las áreas de estructuras kársticas.
- 6) Se aplicaron los instrumentos de recolección y análisis de datos obtenidos.
- 7) Se presentó un informe de los resultados obtenidos de la investigación, los cuales serán instrumento base para la toma de decisiones en la zona de estudios y como referencia en casos similares.
- 8) Se elaboraron mapas del área de estudio
- 9) Se analizó de manera macroscópica el suelo

Análisis de datos

Utilizando la memoria geológica y geomorfológica se realizó un análisis detallado de las estructuras kársticas presentes en la zona y como estas influyen en el acuífero. Para el análisis de los registros y la obtención de las frecuencias H/V se utilizó preferentemente el programa GeoPsy, software de código abierto para la investigación y aplicación geofísica.

A modo de comparación, se utilizó también el programa Grilla, nativo de Micromed Tromino, para

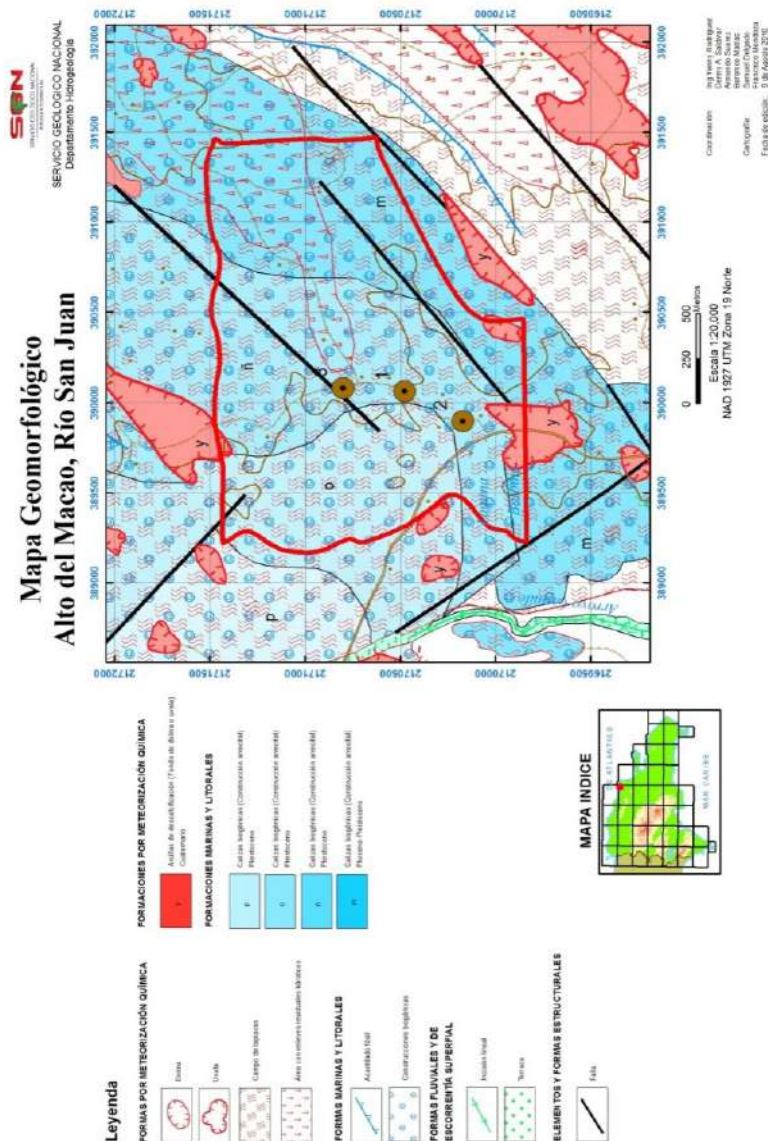
el análisis de los registros y la obtención de los valores. Durante el análisis GeoPsy se calculó la razón espectral. El proceso incluye: segmentación del registro completo en ventanas de 120 segundos, aplicación de ventana y suavizamiento del espectro de Fourier.

Posteriormente se busca y se anota de forma automática la frecuencia para el máximo valor de H/V en una ventana de 0.1 a 20 Hz (esto quiere decir que no se consideran en la selección valores de frecuencia menores que 0.1 Hz o mayores que 20 Hz).

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el proceso de investigación a través de mapas y figuras, tomando en cuenta cada una de las variables e indicadores involucrados en la misma.

Mapa 2: Geomorfológico



Fuente: Mapa Geomorfológico escala 1:100,000, Servicio Geológico Nacional, 2010.

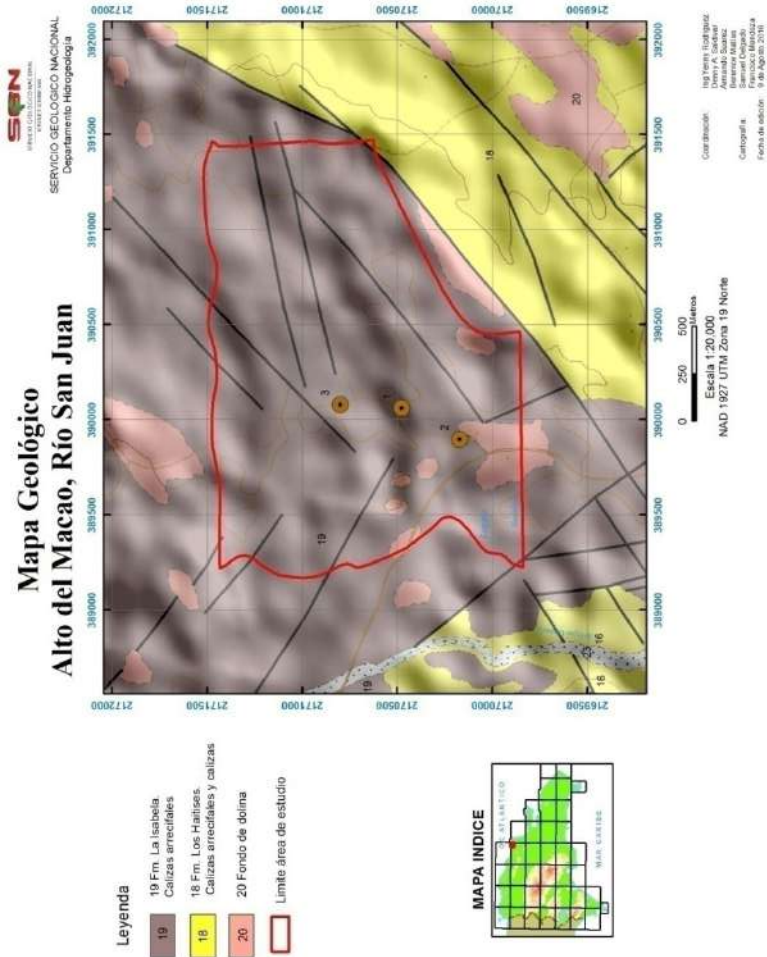
El mapa geomorfológico presenta los puntos tomados en campo, las formaciones kársticas, las fallas que afectan el área, entre otros.

Las calizas biogénicas representan una parte importante de las calizas en general. Deben su origen a la formación de conchas, caparazones y esqueletos duros por parte de diversos organismos animales y vegetales (algas, foraminíferos, corales, moluscos, caracoles, etc.) y a su posterior sedimentación (Otto & B., 1985).

Los fondos de dolinas se asocian a los afloramientos calizos de las formaciones La Isabela y Los Haitises, localizados en el sector nororiental, adquiriendo un desarrollo especial en los niveles superiores del Promontorio de Cabrera. Corresponden a arcillas rojas de aspecto masivo, producto de la descalcificación de los materiales calcáreos por la acción de procesos kársticos, generalmente en relación con dolinas y úvalas, aunque en algunos lugares del promontorio la alteración se ha producido sin relación con este tipo de formas y sí a favor de superficies. Su espesor varía considerablemente en función de la efectividad de los procesos de disolución, pudiendo superar los 3 m.

Estructura Geológica

Mapa 3: Geológico



Fuente: Mapa Geológico escala 1:50,000, Servicio Geológico Nacional, 2010.

El Mapa geológico presenta el conjunto de fallas predominantes en la zona y las formaciones que la conforman. En el Mioceno Superior-Pleistoceno tuvo lugar la sedimentación, principalmente carbonatada, de las formaciones Los Haitises y La Isabela, también fracturadas por la tectónica de desgarres sinistros. La deformación por fracturación continúa hasta la actualidad, dando lugar a la elevación del complejo en una culminación antiformal de escala kilométrica.

Caliza

Las calizas arrecifales y calizas presentes en el área de estudio corresponden a las formaciones la Isabela y los Haitises. Las calizas arrecifales y calizas fracturadas son de permeabilidad muy alta por karstificación. Las calizas arrecifales presentan un alto contenido de algas y corales.

Extensión

Para delimitar el área kárstica se empleó el método geofísico H/V (Tromino). Se realizaron tres mediciones de microvibraciones de 20 minutos cada una, en el paraje Alto de Macao, municipio Río San Juan, (ver imágenes en anexos). Para la toma de datos en terreno, el Tromino fue orientado según el norte magnético utilizando la brújula y la ubicación de cada punto fue controlada por un GPS. Se realizaron tres puntos de medición los cuales fueron ubicados en línea recta a unos 380 metros aproximadamente.

En las figuras siguientes se presentan los datos obtenidos en cada punto con sus respectivas coordenadas.

Long: 390108

Lat: 2170555

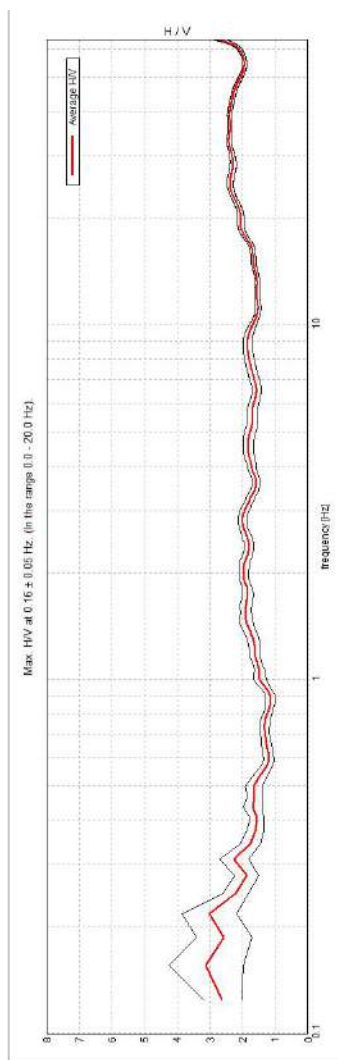
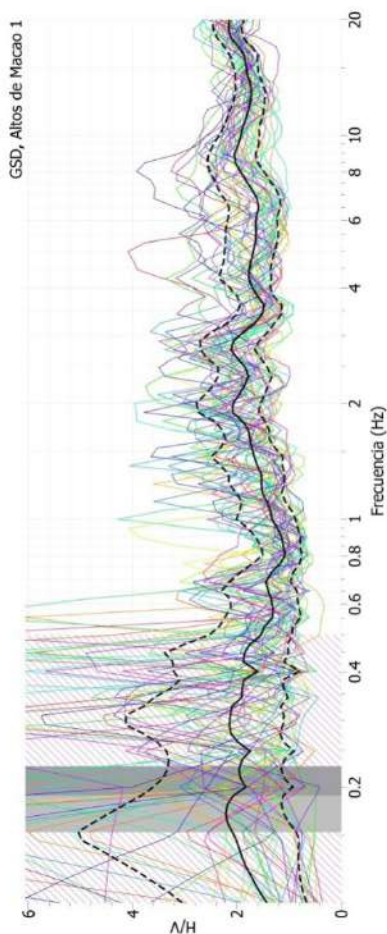


Figura 1: Curvas H/V obtenidas en el punto 1. Esta figura presenta la frecuencia y amplificación de las ondas en el subsuelo, los picos de onda se presentan de forma homogénea. Las ondas de mayor elevación fueron producidas por ruidos de vehículos y por personas.

Long: 389943

Lat: 2170251

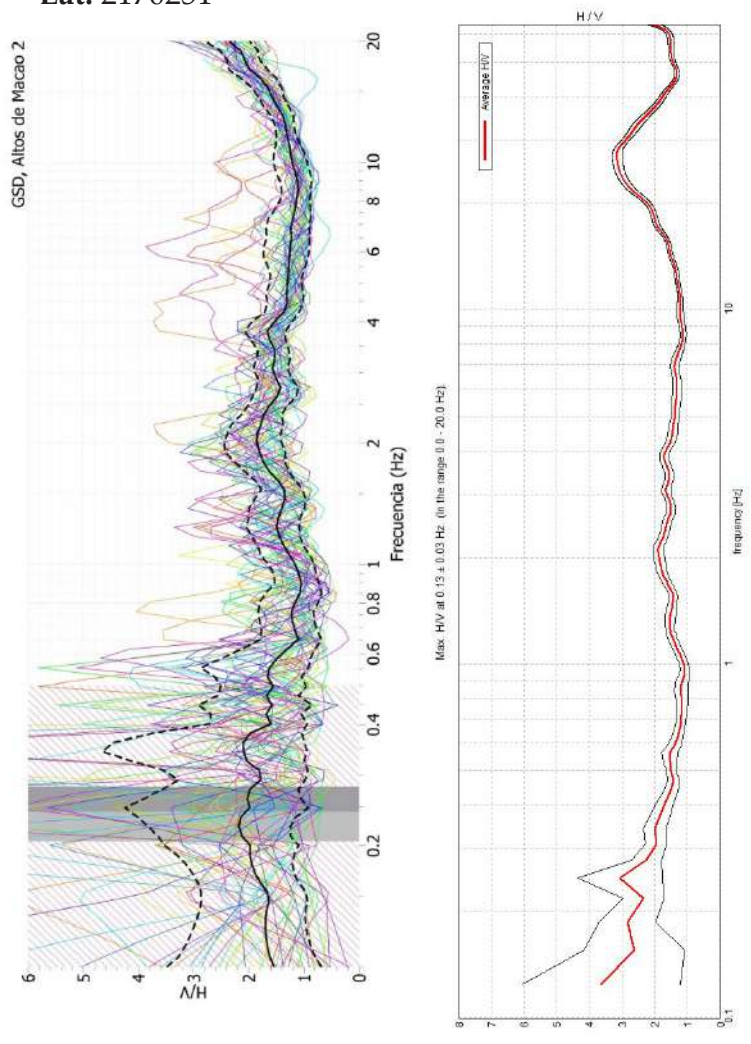


Figura 2: Curvas H/V obtenidas en el punto 2. En este punto las ondas son menos homogéneas debido a la interrupción de onda producida por personas, el pico más elevado fue producido por el paso de un vehículo en el tiempo de 14 a 20 minutos.

Long: 390127

Lat: 2170879

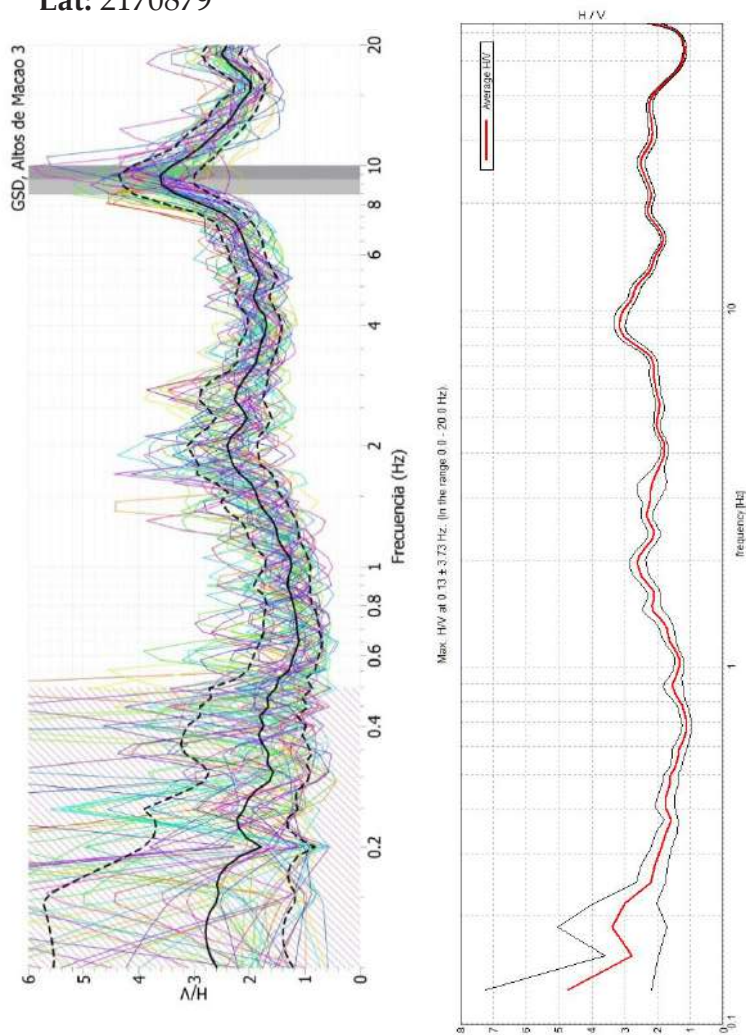


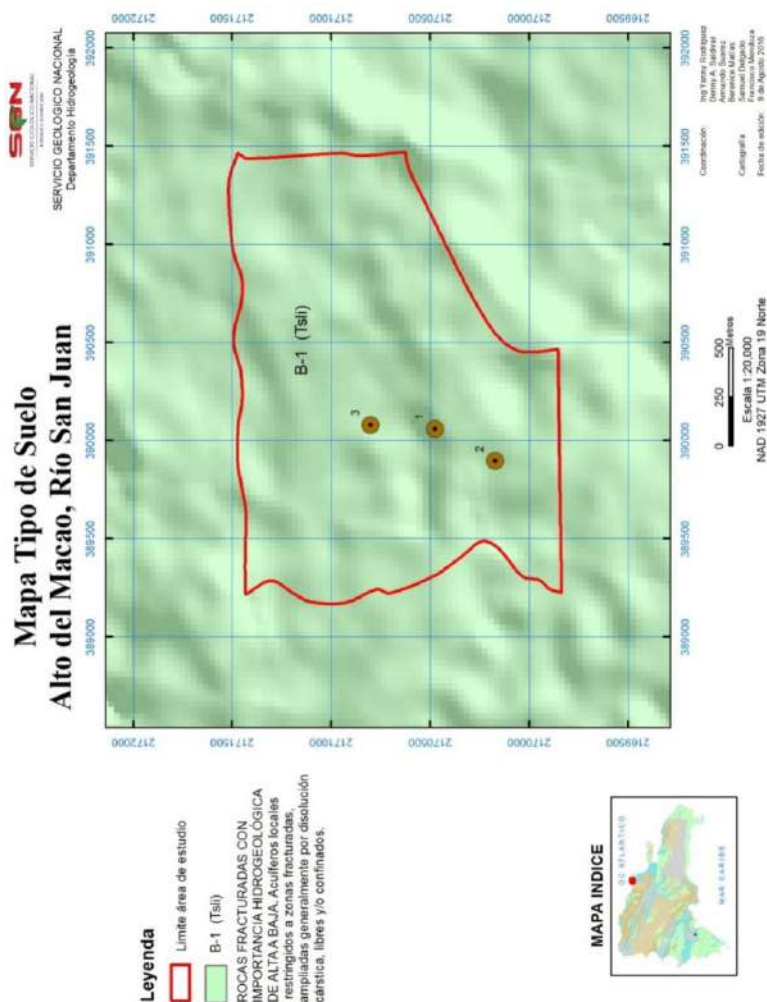
Figura 3: Curvas H/V obtenidas en el punto 3. En este punto las longitudes de ondas fueron afectadas por el fuerte viento, ocasionado por una onda tropical. El pico más alto fue producido por el ruido de una sierra eléctrica, en tiempo de 8 a 10 minutos.

El mapa hidrogeológico presenta el grado de permeabilidad de acuerdo al tipo de litología del suelo. El área de estudio está constituida por formaciones del cuaternario de permeabilidad muy alta por karstificación. Calizas arrecifales (puntos 1 y 3) en su mayor parte, con algunas intercalaciones de permeabilidad baja. Lutitas (punto 2).

El tipo de suelo predominante es el B-1 (ver mapa 4), formado por Rocas Fracturadas con importancia hidrogeológica de alta a baja. Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, ampliadas generalmente por disolución kárstica, libres y/o confinados.

En el mapa de tipo de suelo y mapa de uso de suelo, que se presentan a continuación, podremos ver los puntos tomados en campo con las informaciones correspondientes de acuerdo al tipo de mapa.

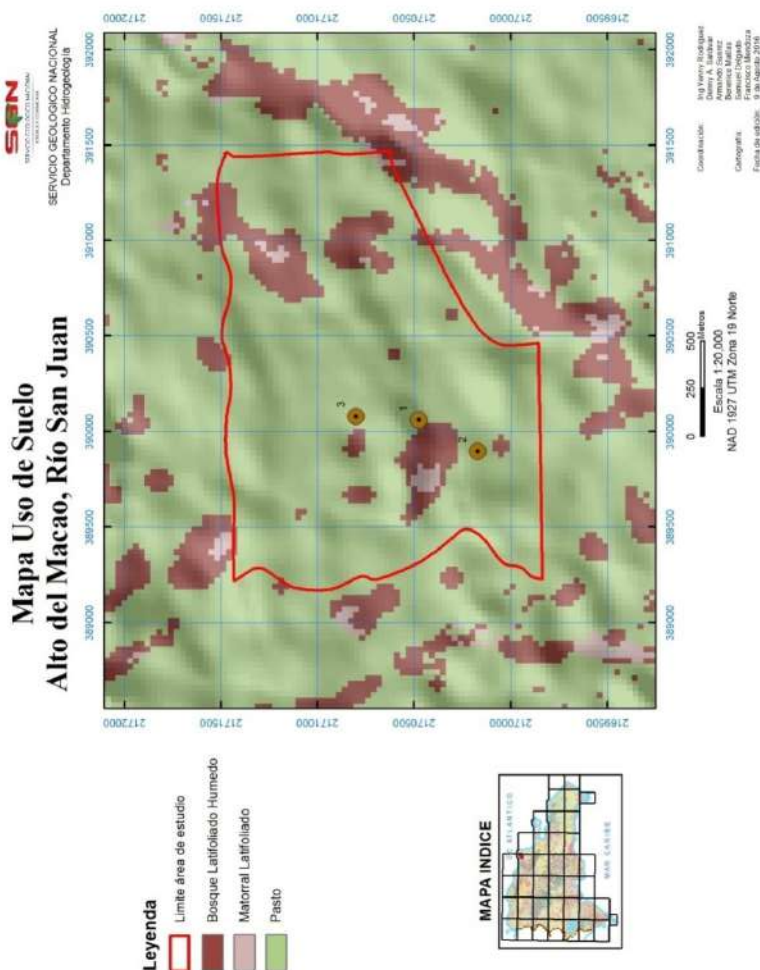
Mapa 5: Tipo de suelo



Fuente: Mapa de Usos y Cobertura del Suelo, Ministerio de Medio Ambiente, 2012.

El mapa de tipo de suelo presenta zona de rocas fracturadas con importancia hidrogeológica de alta a baja, las fracturas están siendo ampliadas por la disolución kárstica.

Mapa 6: Uso de Suelo



La zona se encuentra cubierta por bosques latifoliados húmedos, matorral latifoliado y pasto.

Análisis de los Resultados

En este último aspecto se analizan los resultados obtenidos. Este análisis se logró de acuerdo a los resultados cualitativos presentado en el capítulo anterior, con el propósito de dar respuestas a las preguntas de investigación sobre la caracterización kárstica y exploración hidrogeológica de pozos para el abastecimiento agropecuario, municipio de Río San Juan.

Karst

El área de estudio corresponde a un terreno totalmente kárstico formado por calizas arrecifales y calizas (ver mapa geomorfológico), las mismas han dado lugar a tres tipos de estructuras kársticas principales:

Dolinas: formas más comunes en los sistemas kársticos. Se forman aisladas o en grupos, en general son pequeñas de forma circular o elíptica, más anchas que profundas. Se forman por disolución o colapsamiento y por la existencia de fracturas que se entrecruzan en el interior de la roca, apareciendo un punto de absorción para captar agua. (Aguilar & Francisco, 2013).

Uvalas: depresión de planta irregular, formada por la unión de dos o más dolinas; representa un estadio avanzado en el desarrollo del karst (Aguilar Duarte, Bautista, E. Mendoza, & Delgado, 2013); al igual que las dolinas, se encuentran rellenas de arcilla. En el mapa geomorfológico se puede observar como la uvala presente en nuestra área de estudio está siendo afec-

tada por una falla la cual está en dirección Noroeste-Suroeste.

Lapiaz: es una consecuencia del modelado kárstico. Se trata de una superficie formada por surcos o acanaladuras de distinto tamaño (más o menos profundas). Se produce por la disolución superficial de la caliza afectada por agua de escorrentía o almacenada superficialmente en puntos donde la micro topografía permite una mejor retención o canalización del agua o la humedad. (Martín Martín, 2011).

Estructura geológica.

En el paraje Alto de Macao predominan dos formaciones geológicas: **Formación La Isabela. Calizas arrecifales. Pleistoceno:** Constituyen seis de las siete plataformas calcáreas escalonadas inferiores del Promontorio de Cabrera, dispuestas concéntricamente entre la Fm Los Haitises y la línea de costa (Servicio Geológico Nacional, 2010). (Ver mapa geológico).

Formación Los Haitises. Calizas y calizas arrecifales. Plioceno Superior Pleistoceno Inferior: Se trata del conjunto calcáreo que constituye los peculiares afloramientos de morfología kárstica que culminan el Promontorio de Cabrera, así como los de pequeñas áreas al oeste y sur de Río San Juan. En función de la diferente intensidad de la karstificación, configura desde planicies carbonatadas con un extenso lapiaz hasta un denso entramado de depresiones (dolinas y úvalas) y pronunciados montículos (hums o haitises) (Servicio Geológico Nacional, 2010).

El área en estudio está siendo afectada por múltiples fallas en dirección NE-SW, las cuales posiblemente

te incidan en el acuífero y en la formación de nuevas estructuras kársticas, pero en el ámbito regional más amplio está afectado por la falla San Rafael la cual se encuentra próxima al promontorio de cabrera.

Caliza

El área se encuentra enmarcada casi en su totalidad por calizas arrecifales de permeabilidad muy alta. Esta caliza se encuentra compuesta por gran porcentaje de algas y corales. Por efecto de disolución esta ha dado lugar a múltiples formas kársticas, dolinas, uvalas y lapiaz.

Extensión

Los puntos analizados con el método geofísico H/V (Tromino) dieron como resultado lo siguiente: Curvas H/V obtenidas en el punto 1: ausencia de pico de resonancia. Ver figura 1. Curvas H/V obtenidas en el punto 2: resonancia baja, picos poco marcados. Ver figura 2. Curvas H/V obtenidas en el punto 3: baja resonancia. Ver figura 3. Las figuras indicaron que no hay amplificación debido a la poca frecuencia en el suelo, por dicha razón, no se pudo llegar a delimitar el tope de la estructura kárstica.

Suelo

Alto de Macao está conformado principalmente por la formación La Isabela y formación Los Haitises, (ver mapa hidrogeológico) en dichas formaciones predominan los siguientes tipos de suelos: **Suelos de grava:** suelos compuestos por partículas rocosas de tamaño

comprendido entre 2 y 64 mm. Suelos de permeabilidad alta por porosidad intergranular. (Trateco). **Suelos arenosos:** suelos formados principalmente por arena. La arena son partículas pequeñas de roca de carácter silicio con un diámetro entre 0,02 y 2 mm. (Badillo & Rodriguez, 2005). Suelos de permeabilidad alta por porosidad intergranular.

Suelos lutíticos: suelos compuestos por partículas del tamaño de la arcilla y del limo (González A. M.). Son suelos de permeabilidad media por porosidad intergranular. **Suelos margosos:** suelos compuestos de arcilla, limo y arena con abundante cantidad de materia vegetal descompuesta. (Badillo & Rodriguez, 2005). Estos suelos son de permeabilidad baja. **Calizas arrecifales:** rocas compuestas por exoesqueletos de invertebrados marinos sedentarios como los corales, moluscos, briozoos, equinodermos, y además algas calcáreas (Barredo, 2005). Presentan permeabilidad muy alta por karstificación. Es una zona de rocas fracturadas con importancia hidrogeológica de alta a baja: acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas ampliados generalmente por disolución kárstica, libres y/o confinados. (Ver mapa de tipos de suelo).

Conclusiones

Analizados los datos de la investigación titulada: Caracterización Kárstica y Exploración Hidrogeológica de Pozos para el Abastecimiento Agropecuario, Municipio de Río San Juan, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Se determinó la presencia de múltiples dolinas y uvalas, están compuestas de rellenos residuales, se ubi-

can como puntos de inundación, sirviendo estas como lagunas temporales en los meses más lluvioso del año y otras permanentes en las estaciones seca, lo que corrobora que estén en un área almacenadora de agua.

Se determinó que el área está delimitada estructuralmente por diversas fallas; la gran mayoría están alineadas en dirección noroeste-suroeste. Influyendo de forma directa en el acuífero. Estas fallas poseen fisuras y grietas que sirven como vía para que el agua se infiltre con mayor facilidad en la roca, acelerando el proceso de disolución y contribuyendo con esto a la formación de nuevas estructuras kársticas.

Se comprobó que el basamento está compuesto de calizas biogénicas con contenido de algas y corales, por lo que se pudo concluir que esta área estuvo inundada por aguas somera en el pasado. Se determinó que la karstificación se extiende de manera superficial en todo el perímetro del área de acuerdo a las manifestaciones presente, en cambio a profundidad no se pudo delimitar la estructura. El método geofísico H/V no permitió dar con precisión los límites de la estructura kárstica, debido a la poca frecuencia en el suelo, no hay amplificación. Se determinó que el suelo está compuesto por arena, grava, lutita, margas y caliza, la permeabilidad de estos suelos varía dependiendo de su porosidad intergranular de muy alta, media y baja, debido al proceso de karstificación.

Referencias

- Aguilar Duarte, Y., Bautista, F., E. Mendoza, M., & Delgado, C. (2013). Vulnerabilidad Y Riesgo de Contaminación de Acuíferos Kárstico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16, 243-263.

- Aguilar, Y. D., & Francisco, M. B. (2013). Tropical and Sub-tropical Agroecosystems. En VULNERABILIDAD Y RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS KÁRSTICOS (págs. 243-263). Mérida, Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Angelone, S. (2007). Geología Y Geotécnia (segunda edición ed.).
- Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). Mecánica de Suelo Tomo I. Limusa.
- Barredo, S. (2005). Rocas Sedimentaria.
- Beck, B., & Herring, J. (2001). Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology. (J. H. B.F. Beck, Ed.) Tokyo, Japon: CRC Press.
- Cooper, A., Farrant, A., & Palmer, A. (2007). Actividad Kars-tica.
- Custodio, J. (2007). Los acuíferos costeros (Vol. 23). España.
- Díaz, F. d., & Cámara, R. A. (3,4 y 5 de julio de 2003). KARST TROPICAL DE COLINAS, TIPOLOGÍA Y EVOLUCIÓN EN EL PLIOCUATERNARIO. Oviedo, Asturia.
- Draper, G. (1992). Caribbean Geology. (T. A. Jackson, Ed.) La India.
- EPTISA. (Noviembre de 2004). INFORME DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LOS HAITISES.
- Eptiza. (2014). Estudio Hidrogeológico Nacional de la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana.
- Fernández, R. R., Baquero, J. C., Lorca, D. F., & Verdejo Serrano, J. S. (1986). ACUÍFEROS KÁRSTICOS COSTEROS.

- Fernandez, R., & Baquero, J. (2000). Acuífero Kárstico Costeros.
- Fidias, G. A. (2012). Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme.
- G. Arias, F. (2012). El proyecto de Investigación: Introducción a la investigación científica (6ta ed.). Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme.
- Galán, C. (1991). Dissolution and karst development in siliceous and carbonate rocks: a comparative study. MUNIBE, Nº 43 .
- Geyer. (2007). Karst Aquifers - Characterization and Engineering. Serbia: Zoran Stevanovic.
- Gonzales, C. (1997). ACUIFEROS: FUENTES DE AGUA PARA TODOS. Puerto Rico.
- Gonzales, R. A. (2010). The karst of Los Haitises National Park (Dominican Republic).
- González, A. M. (s.f.). Recuperado el 04 de Agosto de 2016, de <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/amontijo/detríticas/lutitas.htm>
- González, C., & Walker, d. C. (2011). Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zarati. Costa Rica.
- Göppert, & Godscheider. (2008). Karst Aquifers - Characterization and Engineering. (Z. Stenovic, Ed.) Belgara, Serbia.
- Hernández, C. J. (2001). Rocas calizas. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- INGE-MISA. (1995). ESTUDIO NEOTECTONICO DE LA HOJA DE CULLARBAZA.

- Instituto Geológico y Minero de España. (2009). Las aguas subterráneas Un recurso natural del subsuelo (4^o Edición ed.).
- J, R., & M, H. (1987). *Modern Structural Geology*. Academic Press, London, 2.
- JARAMILLO, D. F. (2002). INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO. Medellín, Colombia.
- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). A Research Paradigm Whose Time Has Come. *American Educational Research Association*, 33 (7), 17.
- Jorge Oyarzún M, G. D. (2009). *Léxico sobre procesos y estructuras geológicas*. Chile.
- Martín Martín, J. (07 de 09 de 2011). Blog de Geografía del profesor Juan Martín Martín. Recuperado el 11 de 07 de 2016, de <http://blogdegeografiadejuan.blogspot.com/2011/10/modelado-carstico-el-la-piaz-o-lenar.html>
- Martins, F., & Palella, S. S. (2010). *Metodología de la investigación cualitativa* (2a. ed. ed.). Caracas; Venezuela.
- Núñez, A. J. (1988). Cuba.
- Ordoñez, J. J. (2011). *Cartilla Técnicas: Aguas Subterráneas-Acuíferos*. Foro Peruano para el Agua—GWP Perú .
- Otto, L., & B., K. (1985). *Prontuario del cemento*. Kohlhaas, B.
- Rodríguez, H. M., & Febrillet, J. F. (2006). Potencial hidrogeológico de la República Dominicana. *Boletín Geológico y Minero*, 187-200.
- Servicio Geológico Nacional. (2010). Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Río San Juan (6174-I). Santo Domingo.

- Servicio Geológico Nacional. (2010). Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Río San Juan (6174-I). República Dominicana.
- Servicio Geológico Nacional. (2010). Informe Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico; Hoja a escala 1:100.000 de Salcedo (6174). Santo Domingo.
- Servicio Geológico Nacional. (2010). Memoria Geológica Río San Juan (6174-I). Río San Juan, República Dominicana.
- SGN. (2010). Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Río San Juan (6174-I). República Dominicana.
- SGN. (2010). Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Río San Juan (6174-I). Santo Domingo, R.D.
- SGN. (1990). Hoja nnnmmm. Santo Domingo, República Dominicana.
- Trateco. (s.f.). Recuperado el 04 de Agosto de 2016, de http://www.trateco.net/caracteristicas_grava.html
- Tupak, R. O. (2010). Fundamentos y métodos de la. Managua, Nicaragua.
- Vélez, M. V., & Vásquez, L. M. Métodos para determinar la recarga en acuíferos .
- Viviroli, D., & Weingartner, R. (2004). The hydrological significance of mountains: from regional to global scale. *Hydrology & Earth System sciences*, 1016-1029.