

Reporte Final



Geología del río Estibaná

Los Santos

15 de noviembre del 2018

Reporte geológico

Actividades desarrolladas en campo

Durante el proceso de reconocimiento geológico, se han realizado recorridos a lo largo de rutas previamente establecidas, así como accesos a lugares montañosos, cauces de ríos con el objetivo de ampliar el conocimiento y la cobertura superficial sobre la composición y tipos de rocas predominantes. En la mayoría de las ocasiones, estas rutas se ampliaron dadas las condiciones del terreno y el tiempo. Todos los reconocimientos han sido documentados con anotaciones y registros reverenciados que servirán de apoyo a la confección de gráficas y mapas asociados a la geología de la sub-cuenca Estibaná. En adelante, las secciones detallan los aspectos y elementos característicos de los sitios de interés.

INDICE DE CONTENIDOS

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ALCANCE
- III. RUTAS DE ACCESOS
- IV. RECONOCIMIENTOS GEOLÓGICOS
- V. MORFOLOGÍA
- VI. ZONAS DE INTERES
- VII. PERFILES
- VIII. ESTRATIGRAFÍA
- IX. INCONSISTENCIAS
- X. SISMICIDAD
- XI. TRABAJOS REALIZADOS
- XII. RECOMENDACIONES
- XIII. ANEXOS

I. INTRODUCCIÓN

En este reporte, se contemplan las actividades principales y complementarias desarrolladas así como el análisis geológico de los cuerpos y afloramientos identificados en campo. De igual manera, aspectos de la geología regional, el muestreo realizado con una caracterización de los cuerpos y grupos rocosos identificados e interpretados. Toda esta información de campo, se complementa con los mapas temáticos, detalles y cortes geológicos sugeridos.



La sub-cuenca del río Estibaná es parte importante de la cuenca del río La Villa y se localiza hacia el extremo Sur Este de dicha cuenca.

II. ALCANCE Y METODOLOGÍA.

Las exploraciones y reconocimientos geológicos de campo, se basan en procedimientos que incluyen como elemento principal las relaciones con las personas, dueños de terrenos y propiedades a las cuales será necesario acceder.

Siempre se investiga por los dueños de propiedades para solicitarles el permiso de acceso y además explicarles sobre los trabajos a desarrollar sobre sus propiedades. En igual medida y en casos extremos, se solicita la anuencia de vecinos y familiares para poder agilizar las labores de campo.

El acceso a los diferentes sitios se ha realizado desde La Villa de Los Santos, tomando la ruta La Colorada-Macaracas. También, se estableció una sub base cerca a Macaracas, para agilizar los trabajos hacia los sectores de la parte alta del río Estibaná.

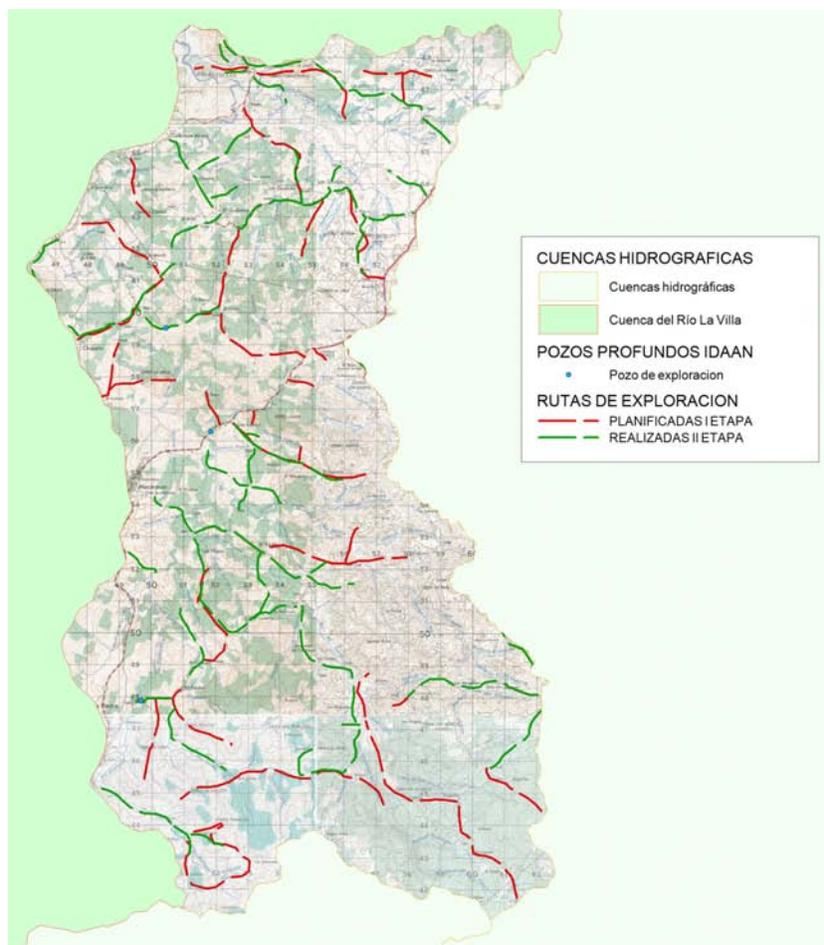
Los recorridos y reconocimientos se han desarrollado en vehículo 4x4 hasta las cercanías de los sitios y lugares de interés, para darle continuidad mediante travesías por el terreno.

En cada recorrido, se han incluido la identificación de las rocas, afloramientos, así como la toma de muestras. Cada muestra, se ha registrado mediante coordenada al igual que el afloramiento donde se tomó. Cada muestra tiene un código compuesto de letras y números que representa el tipo de material colectado, la zona y la cantidad que corresponde. MRE-004 [M- muestra; R- roca; E-Estibaná; 004- es la cuarta muestra]. Este mismo código, aparecerá en las tablas y mapas que se presentan como adjuntos.

En el desarrollo de los reconocimientos, se han registrado aspectos relacionados indirectamente con la geología como pozos privados y sus dueños, pozos del IDAAN y algunos otros elementos que seguramente servirán de apoyo a las investigaciones.

III. RUTAS DE ACCESO

En el proceso de reconocimiento y levantamiento geológico, se planificaron 37 rutas de acceso a los diferentes sitios de interés. No obstante en la realidad los accesos y reconocimientos fueron expandidos y la planificación como el trazado de las rutas se modificó significativamente en cuanto a la cronología y la extensión de las mismas ya que al término de las actividades se han logrado cubrir zonas y sectores con nuevos afloramientos y características, por lo que se han superado las expectativas de cobertura sobre el terreno. Esto sin dudas, ha llevado a un mejor conocimiento de los afloramientos y las rocas existentes dentro y fuera de los límites de esta sub-cuenca Estibaná. En el mapa de rutas adjunto se presentan los distintos recorridos utilizados para estos reconocimientos. A la fecha, se han realizado cerca de 56 rutas distintas, alcanzando definir y registrar unos 496 afloramientos prominentes, algunos de los cuales, se les ha tomado muestras para análisis detallado y otros para análisis petrográfico. [ver anexos]



Mapa de Rutas y Accesos

IV. RECONOCIMIENTOS GEOLÓGICOS.

El proceso de exploraciones y reconocimientos de campo ha cubierto las necesidades básicas para la identificación de afloramientos y tipos de rocas predominantes dentro de la sub-cuenca Estibaná. Es importante destacar que en la cobertura predominan las rocas volcánicas, volcano-clásticas, seguidas de rocas sedimentarias colgadas y depositadas en valles o depresiones. [Macaracas] En complemento, se encuentran las rocas de origen plutónico, similares a los cuerpos reconocidos y descritos en trabajos regionales anteriores como El Montuoso, Valle Riquito y Colán. [5]. (ver mapa geológico), con una diferencia en nuevos afloramientos de rocas filonianas porfiríticas de composición máfica ubicadas en el sector de San Luis y El Guapo en Macaracas que se refieren a eventos posteriores o singenéticos a los cuerpos mencionados y se están referenciando al Cretáceo Superior por la razón de que no se encontró evidencia de impacto en las rocas encajonares o circundantes.

A la fecha se han realizado algunos ajustes en las descripciones y correlaciones entre los distintos afloramientos y grupos de rocas identificados. En general los grandes grupos predominantes sigue siendo las rocas volcanocásticas y sedimentarias que presentan intrusiones de algunos cuerpos granodioríticos asociados al batolito de El Montuoso y pulsaciones posteriores como Valleriquito, Colán y de tipo filonianas.

Básicamente hay tres grandes grupos geológicos de rocas observados a lo largo de estas investigaciones, que a continuación se detallan.

Las Rocas Volcánicas

Los afloramientos reconocidos en las distintas rutas de acceso a la subcuenca Estibaná y sus perímetros, han mostrado una clara dispersión y presencia de rocas asociadas al grupo efusivo-clástico. Cabe recordar que esta región central del país (Azüero), experimentó numerosas transformaciones y fenómenos tectónico magmáticos desde los primeros momentos de ascenso; producto de los choques de la corteza oceánica desde el Sur y la placa del Caribe. Estos eventos diferenciales de avance y de ascenso provocaron el surgimiento de un volcanismo de composición básica-intermedia; que dispersó grandes volúmenes de material efusivo sobre continente firme y regiones acuáticas. En el caso específico de Estibaná, predominan las rocas de la Formación Macaracas-Pesé del Paleogeno-Oligoceno [TO-PE] y rocas volcanoclásticas con tobas continentales. En seguimiento a la caracterización de las rocas volcánicas predominantes, es necesario mencionar que sobre los sectores montañosos que limitan la cuenca del río Estibaná en su parte alta, en su parte media hacia el Este, las rocas y afloramientos identificados corresponden a basaltos y andesitas de cristalización fina (ver foto y muestra).



El cauce del río Cacao en su parte media y en las cabeceras presenta un lecho compuesto de rocas masivas basalto andesítica con fuerte fracturamiento. De igual manera en la zona denominada río Arriba, conformada por laderas empinadas y fuertemente meteorizadas y solo en los lechos se observa la roca fresca donde existe

una clara diferencia del paisaje para dar paso a los aglomerados y tobas que se dispersan desde los pie de monte hasta las partes medias y bajas del río Estibaná (planicie Macaracas). Esta diferencia geológica y morfológica sugiere la transición de la formación Playa Venado ? [K₂-VE] y la Formación Pesé [TO-PE]. En este sentido y para poder establecer una definición coherente con los afloramientos identificados y las rocas analizadas, los límites geológicos se han trasladado a las cercanías de las fallas que además actúan como limitante tectónica de estas formaciones, dado que en campo existe una evidencia marcada por fracturas locales y fallas regionales que limitan la planicie Macaracas de las estructuras montañosas dentro de la sub-cuenca del río Estibaná y es por eso que se sugiere este cambio. (ver perfil 1 y 2).



Lechos rocosos en el río Cacao a lo largo de fracturas regionales

Las Rocas Sedimentarias

Durante las etapas subsiguientes de reconocimiento y exploración geológica, la presencia de rocas sedimentarias dentro del sector de la sub-cuenca Estibaná se mantiene predominante en la parte central (valle de Macaracas) y hacia el extremo Norte. Se han identificado así, dos tipos de rocas sedimentarias que se ubican dentro de la sub-cuenca. El primer grupo netamente asociado con los procesos de meteorización, fragmentación pluvial, transporte aluvial con la consecuente acumulación y consedimentación en los lechos marinos y lacustres. La gran mayoría ha experimentado además procesos sedimentarios químicos producto de los cambios climáticos de estos períodos en donde la temperatura del agua y la concentración de componentes fue suficiente como para precipitar carbonatos y permitir la formación de rocas calizas y en otros momentos no menos tranquilos acumular rocas fragmentarias finas [areniscas] en combinación con cuerpos fósiles. El segundo grupo se asocia a rocas sedimentarias volcánicas intercaladas con fracciones arcillosas-limosas que se concentran en la Formación Ocú del Cretáceo Superior [K-CHAO, 65 Ma]. Otro componente volcánico sedimentario que se une a este grupo es aquel compuesto por tobas continentales y arcillo conglomerados asociados a la Formación Pesé del Paleogeno Superior-Terciario Oligoceno [TO-PE, 23 Ma].



Paquete sedimentario de la formación Ocú

Existe una variante relacionada con la Formación Santiago, [TM-SA, 5.3 Ma], compuesta por areniscas y que durante este reconocimiento hemos logrado identificar sectores y afloramientos asociados a dicha formación, sin embargo la delimitación gráfica representa un elemento que debe ser considerado como un lente sedimentario colgado dentro del valle planicie Macaracas; limitado por fallas y pequeñas elevaciones circundantes. Se han identificado algunos afloramientos pero no existe evidencia en profundidad por parte de perforaciones dentro de esta zona. Es importante destacar que los pozos profundos perforados para el IDAAN mostraron rocas asociadas a eventos piroclásticos a lo largo de más de 300 metros de profundidad, lo cual sugiere que esta formación Santiago nuevamente esta colgada sobre estos sedimentos volcánicos (toba lapilli) de la formación Pesé [TO-PE]

Las Rocas Intrusivas

De acuerdo al mapa geológico nacional, los cuerpos intrusivos de la región central (Azüero), se originan a partir del batolito Loma Montuoso, posiblemente a partir de un magma calcoalcalino que posteriormente se diferencia en un magma félsico el cual produce cuarzodioritas y granodioritas. Este cuerpo de acuerdo a dataciones registra una antigüedad de 64.87 +/- 1.34 Ma, ubicado cronológicamente en el Maastrichtiano del Cretáceo Superior [K₂ -mLM]. [8]. Otras pulsaciones del magma se registran sobre el cinturón mineralizado de Azüero el cual tiene una orientación predominante 070° NO. De conformidad con otros cuerpos intrusivos alineados como Vallerriquito, Colán, Parita y Pedasí. Estos últimos presentan un contenido cuarzodiorítico que durante el proceso de meteorización genera acumulaciones de "arenas continentales" con altos contenido de cuarzo y magnetita (Vallerriquito, Pedasí). [5] La edad de estos cuerpos se fija en 48.6 Ma. Es decir en Terciario Eoceno-Oligoceno. [TE-RIQ]. El magma de Loma Montuoso al igual que Vallerriquito, Colán, Pedasí y Parita, mantienen una composición entre cuarzodioritas y granodioritas, lo cual indica que era un magma de altos contenidos de sílice y minerales félsicos entre 60 y 70 % de cuarzo. Estos magmas se caracterizan por ser mas viscosos. En la sub-cuenca Estibaná, se han identificado tres

sitios con presencia de estos cuerpos intrusivos cuyo estado actual es meteorizado en combinación con bloques y fragmentos residuales frescos.



Roca típica intrusiva granodiorítica en el cause superior del río Estibaná

Durante el reconocimiento de afloramientos en campo se ubicaron algunos fragmentos y cuerpos de composición máfica de textura porfirítica con cristales desarrollados de hornblendas. De acuerdo a los análisis petrográficos de muestras, se trata de un cuerpo filoniano tipo gabroide. Estos detalles, se han tomado en cuenta para hacer una diferenciación gráfica de estos afloramientos como cuerpos subintrusivos posiblemente posteriores (jóvenes) al intrusivo de El Montuoso. En los registros de campo se han identificado tres sitios con rocas similares y plantean sugerencias de mayores estudios y detalles en cuanto a exploración e identificación incluyendo datación, que permita definir tanto su composición final y su edad. Nuestra opinión respecto a estos cuerpos y rocas filonianas encontrada es que existe una fuerte posibilidad de que las fracturas y fallas reactivadas por movimientos sísmicos y desplazamientos de los bloques que componen Azuero; hayan permitido el ascenso de un magma máfico fluido, en períodos

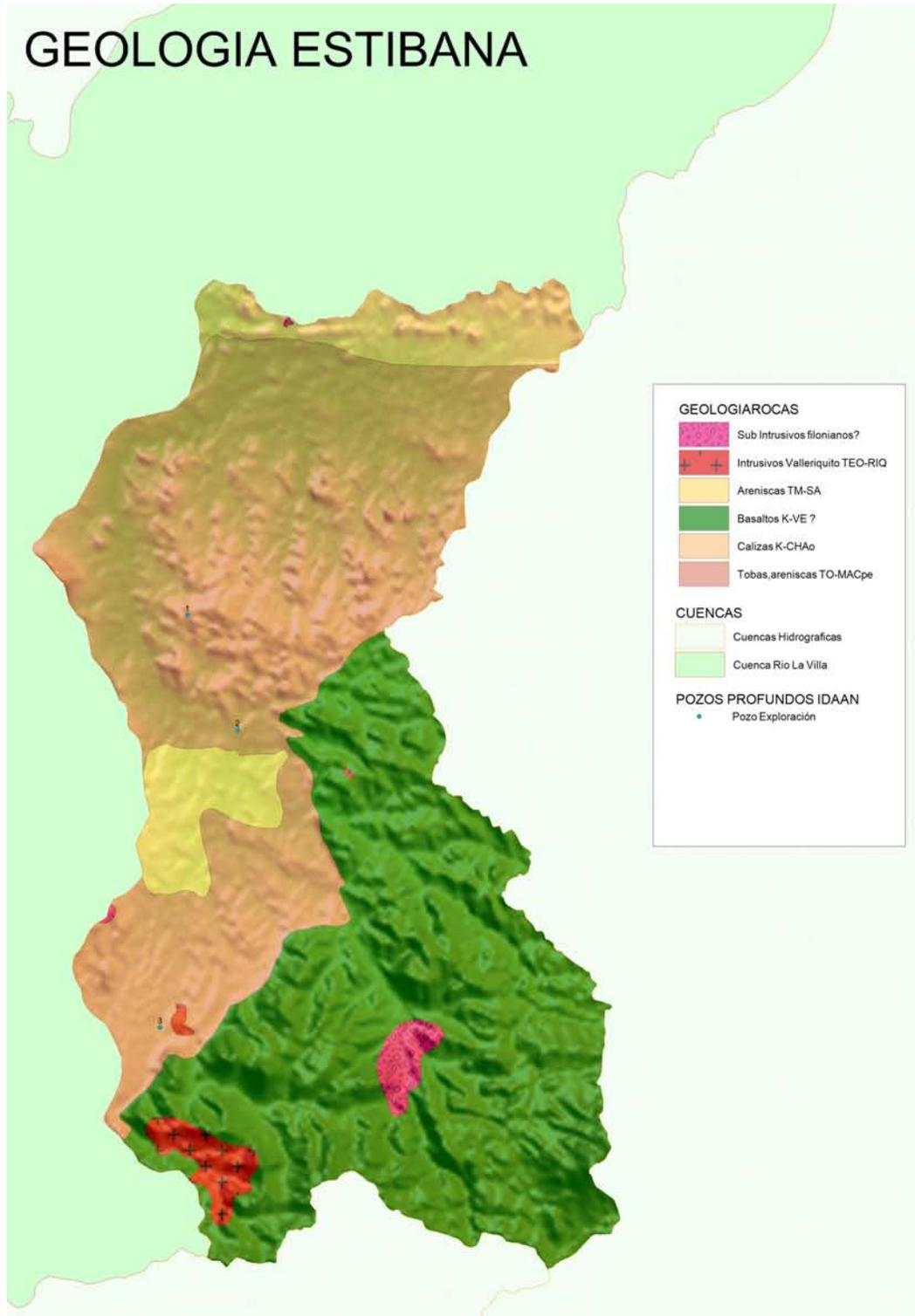
posteriores a la consolidación del batolito El Montuoso y Valleriquito, no obstante la reacción de dichos cuerpos con el medio circundante no se ha podido determinar entre las rocas analizadas.



Roca porfirítica localizada en varios sitios y afloramientos asociada a cuerpos filonianos

Los cuerpos identificados en el mapa geológico nacional, se ubican principalmente hacia las partes Sur-Este de la sub cuenca Estibaná. En relación al reconocimiento de dichos intrusivos, es importante destacar que el nacimiento principal del río Estibaná, esta dominado por rocas volcánicas del Cretáceo Superior, [K₂-VE], pero que además se encuentran grandes cuerpos intrusivos meteorizados de composición Granodiorítica [ver mapa GEOLOGIA ESTIBANÁ, perfil 1 y 2]. Estos cuerpos se consideran posteriores al período de tiempo Loma Montuoso con mayor cercanía a Varreriquito. Es de considerar que en un reporte interno del proyecto de exploraciones minerales [Cerro Quema, 24 noviembre 1994], [5] se identificaron afloramientos de roca porfirítica filoniana, de contenido intermedio con cristalizaciones desarrolladas de hornblendas y con 15 - 30 % de magnetita de color gris verde olivo muy similar a las encontradas en Estibaná, solo que éstas, en Quema, se identificaron con dacitas en las cercanías de

loma La Pava. (E.Rodríguez 6 oct. 1994, T. Baxter 30 oct. 1994). (Dacitas en Quema 6.8 - 7.1 +- 2.0 , [7]).



V. MORFOLOGÍA

En una caracterización realizada con ayuda de los reconocimientos regionales y apoyado por una topografía regional en detalle, se han logrado definir elementos morfológicos de gran importancia dentro de la zona que comprende la sub-cuenca Estibaná. Este sector, al igual que toda la península de Azuero ha sufrido cambios significativos superficiales y estructurales por una fuerte influencia de los alineamientos tectónicos regionales que provocaron movimientos de ascenso y desplazamientos horizontales provenientes del Sur [Nazca- Cocos]. En base al análisis de los distintos afloramientos y sectores dentro y fuera de los límites de la sub-cuenca Estibaná, se pueden identificar tres grandes sectores morfológicos que se expresan en zonas montañosas, zonas de valles y planicies y zonas de distensión asociada a los fallamientos regionales.



Vista NE -SO desde Los Leales hacia el Valle Planicie Macaracas.



Vista desde SO hacia la cuenca media y Canajagua.

Al centro el Valle Planicie Macaracas

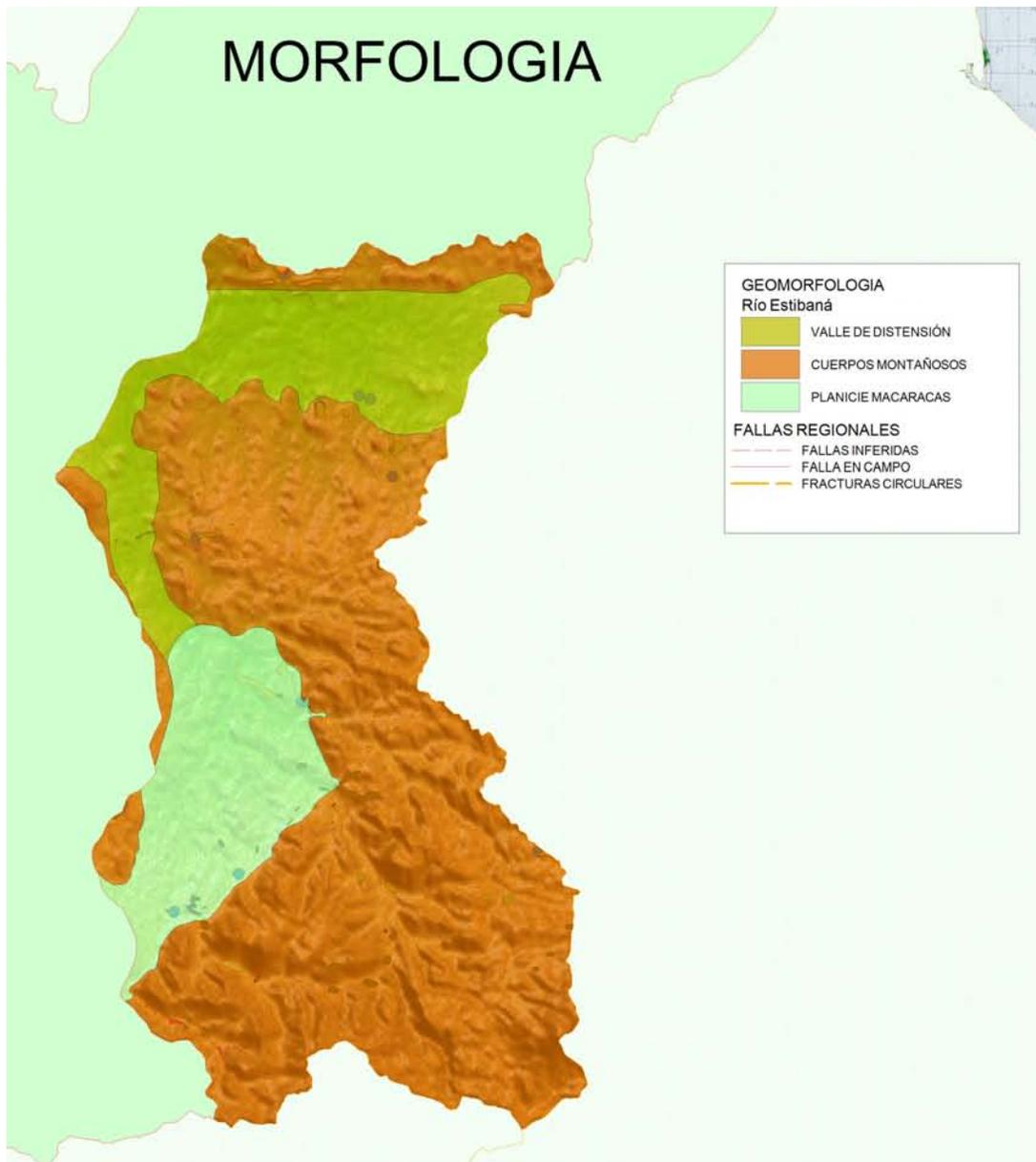
En adición a esto, en la periferia Sur, Este y Nor-Este encontramos los macizos montañosos, limitando las partes altas de esta cuenca y algunos remanentes de elevaciones de cuerpos filonianos y tobas como limitantes físicos entre el cauce del río La Villa, en la parte SurOeste.

Hacia la parte central de la sub-cuenca Estibaná, encontramos lo que se ha denominado el 'Valle Planicie-Macaracas' que se extiende desde el piedemonte El Faldar, Los Leales Arriba hasta los límites con el río La Villa. Aquí la delimitación física se sustenta en elementos tectónicos como la falla El Faldar, con orientación NE, la falla tectónica El Cacao, con orientación N y una falla con orientación NO, Los Leales-río Sairo, mismas que limitan los cuerpos rocosos y formaciones geológicas predominantes en este sector (ver mapa). Hacia el Oeste muy cerca del cauce del río La Villa, el Valle-Planicie se extiende y se encajona por un sector identificado como zona de fallas y finalmente se conecta con la zona de distensión en el sector San Luis

que se limita hacia el Norte por una cadena de cerros que no superan los 200 msnm, pero que guardan un alineamiento marcado con la zona de Falla Ocú-Pesé, de orientación Este- Oeste, así como con zonas de distensión conformadas por pequeños valles alargados con la misma dirección predominante y que sugieren la presencia de formaciones tipo Grabben. En el caso específico del Valle-Planicie Macaracas, cabe señalar que se conecta hacia el SO, con la planicie de La Mesa de Macaracas; elemento morfológico singenético, que a nuestro entender debe considerarse para el modelo hidrogeológico.



Planicie y piedemonte limitante de los cuerpos montañosos y rocosos



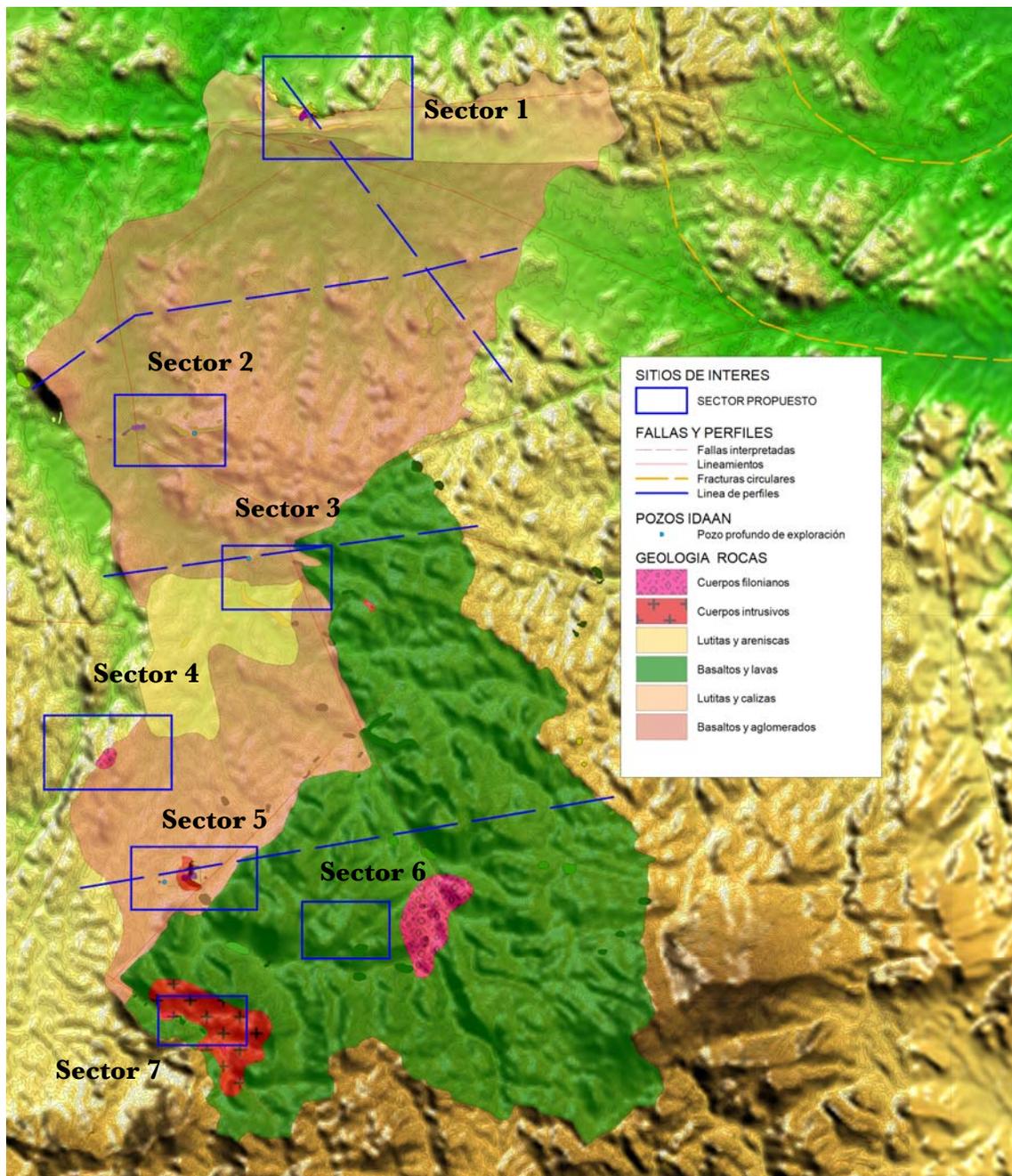
VI. ZONAS DE INTERES

En base a los reconocimientos realizados desde inicios de junio del 2018, se han identificado diferentes sitios y sectores con características geológicas particulares. Esto permitió establecer propuestas para el desarrollo de trabajos adicionales en sitios de interés geológico. Esta propuesta, se concretó en un mapa con la ubicación de los sitios para realizar pruebas e investigaciones geofísicas con el objetivo de ampliar y mejorar el concepto estructural y estratigráfico de formaciones rocosas superficiales, así como de contactos prominentes cuya extensión en el espacio pueda generar algún tipo de influencia en el comportamiento de los flujos superficiales que alimentan el cauce del río Estibaná.

En gran medida los sitios propuestos presentan afloramientos de rocas y paquetes de rocas que su disposición espacial configuran elementos de posible influencia en los flujos superficiales de las aguas meteóricas con las posibles consecuencias de intervenir a profundidad con las áreas de recarga o descarga del río Estibaná.

De los sitios propuestos (ver mapa), en la primera etapa, se iniciaron trabajos en tres de dichos sitios dadas las condiciones climáticas y el grado de dificultad del terreno donde se ubican.

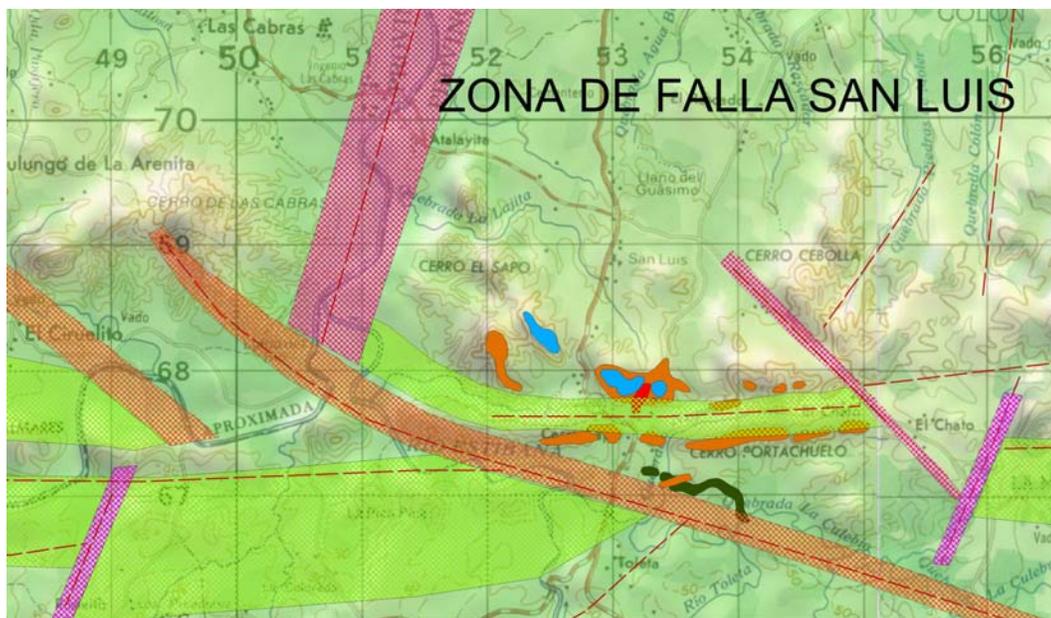
En adelante se presenta el mapa de propuesta y los sitios destinados para realizar los trabajos de geofísica, así como una descripción general de sus características.



Mapa de sitios propuestos

El sector uno. En el sector denominado San Luis, se caracteriza por una morfología fracturada en bloques escalonados producto de la presencia regional de la falla Ocu-Parita que corta la península de Azuero con orientación Este-Oeste. En este sector además, se han localizado las secuencias sedimentarias de calizas grises dominando

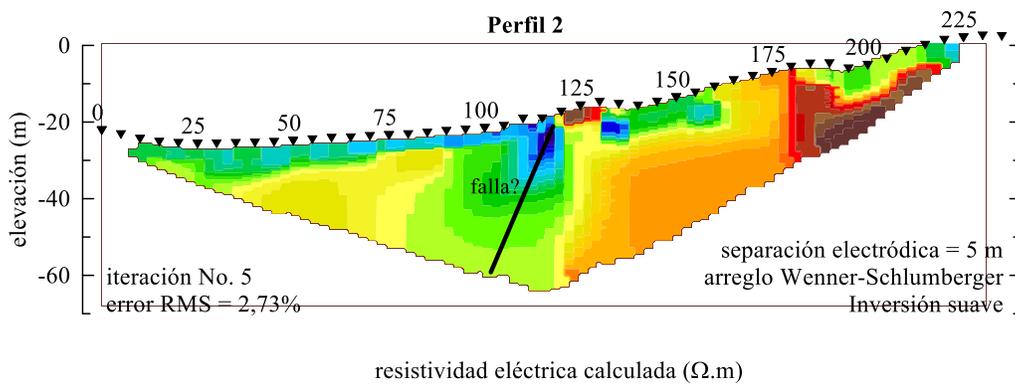
las cumbres de las elevaciones en el margen derecho del río Estibaná; sobreyaciendo a una secuencias de sedimentos finos denominados lutitas cristalinas dado el grado de consolidación que presentan. Este sector en la parte baja de la subcuenca Estibaná está relacionado con una zona de falla que alcanza los 900 metros de ancho y se extiende a unos 7000 metros de largo dejando ver claramente un valle ovalado con algunas elevaciones internas que sugieren bloques que experimentaron distintos procesos de movimientos. En este sector, también se ha encontrado un cuerpo filoniano sub-intrusivo porfirítico meteorizado, de composición máfica, subyaciendo a los estratos antes mencionados. Es importante resaltar que esta zona de falla [San Luis] contrasta de manera abrupta con el cauce del río, obligando las agua a seguir una orientación similar a la falla y desembocar al río La Villa. Estos detalles, fueron suficientes para sugerir estudios de geofísica con perfiles alineados de manera transversal a los cuerpos y a los contactos entre formaciones. En el plano tectónico, esta zona al igual que otras a lo largo de la falla Ocú, han experimentado movimientos y presiones desde el Sur producto de la influencia de las placas oceánicas de Nazca y Cocos, pero que además, presentan deformaciones en su desarrollo que sugieren



movimientos de distensión y balance de bloques internos definiendo en esta zona una especie de graben fallado. (ver mapa)

El primer perfil desarrollado se alineó de manera transversal al valle de distensión o falla, definiendo la presencia de una muy delgada capa combada resistencia sobreyaciendo a una especie de cuerpo fracturado con relativa resistencia eléctrica que además sugiere la presencia y continuidad a profundidad de ese cuerpo filoniano localizado en superficie. En adelante se muestra la gráfica.

En una segunda etapa, se identificó un nuevo sitio donde se desarrolló un nuevo perfil paralelo al anterior y que nuevamente definió la presencia de cuerpos o bloques a profundidad lo cual evidencia la condición de zona de distensión y falla San Luis.



Interpretación preliminar de la tomografía 2D. Alexis Mojica.

El sector dos, se localiza en la parte intermedia de la sub-cuenta del río Estibaná, donde predomina una topografía relativamente plana con muy pocas elevaciones prominentes, y en donde se han podido identificar las secuencias volcano-sedimentarias con predominio de las areniscas y lutitas, que conforman el núcleo del Valle-Planicie MACARACAS, que colinda con el cauce del río La Villa a muy poca distancia. En este sector, se ha identificado la presencia además de basaltos aglomerados, fracturados sobre los cauces de quebradas y ríos. Es muy característico el contacto localizado en el vado que conduce desde Chupaito a Las Guabas (colapsado), donde además del cuerpo de basaltos aglomerados, se define un dique con orientación Azimuth 100° de unos 70 cm de espesor y en la margen derecha del río Estibaná, se localiza un afloramiento del mismo basalto aglomerado en contacto con una secuencia volcano-sedimentaria cristalizada con orientación Azimuth 120° . En este sitio se desarrollaron dos perfiles de geofísica para confirmar la continuidad de este contacto y la proyección del cuerpo a profundidad. Aunque la inclinación del contacto y los estratos se observa subvertical o unos 85° , esto puede actuar como una cortina subterránea a cualquier flujo superficial, lo cual debe ser tomado en cuenta para análisis posteriores.

En los resultados de estos trabajos de geofísica los perfiles mostraron un cuerpo fracturado que incluye el sector del cauce del río Estibaná y una zona en el extremo NOR-Este que sugiere una fractura inclinada. Sin dudas, los análisis conjuntos de el componente superficial y los resultados de las tomografías ayudará a definir el carácter de la conformación del terreno en este sitio.

El sector tres. Está ubicado al NorEste de Macaracas en las inmediaciones de Los Leales. Aquí hay una perforación de exploración realizada para el IDAAN que alcanzó 300 metros de profundidad y cuya descripción litológica asocia a las rocas con tobas y aglomerados volcánicos. Además, el sector cuenta con la presencia de una falla regional muy pronunciada que limita morfológicamente el “VallePlanicie Macaracas” con los grupos montañosos. El fuerte fracturamiento de las rocas perforadas indica una influencia directa de estas fallas. En adición a esto, existen varios pozos para abastecimiento de agua que podrán utilizarse para desarrollar pruebas y registrar la capacidad de transmisión de este tipo de rocas identificado en este pozo profundo. De igual manera, el desarrollo de estudios geofísicos ayudará a definir el alcance de la falla y su posible influencia en los flujos de la zona.



Característica de las rocas a 293.60m en Los Leales 22 nov. 2016

El sector cuatro. El Guabo. La ubicación de este sector responde a la necesidad de identificar y definir mediante investigaciones geofísicas la proyección e influencia de los grupos rocosos localizados en esta periferia de la subcuenca que además, colinda con el cauce del río La Villa. Aquí se han identificado rocas tipo aglomerados y afloramientos de cuerpos filonianos porfiríticos, meteorizados, similares a otros sectores asociados a fracturas.



Roca porfirítica fuertemente meteorizada

El sector cinco, se ubica en el sector de El Faldar, muy cercano al pozo profundo MP-3 realizado para el IDAAN.

Sobre este sitio, se ha localizado una sección del terreno que muestra un evidente contacto disconforme entre rocas filonianas subintrusivas meteorizadas (dioríticas ?) y sedimentos estratificados meteorizados con una cobertura de fragmentos aislados de andesitas y basaltos. El buzamiento de estos estratos y del mismo contacto es de 10° con un Azimuth 015° . En este sector se propuso la confección de perfiles de geofísica, para determinar la continuidad a profundidad de dicho contacto, así como el carácter del cuerpo subyacente.

La morfología del sitio, es de colinas muy bajas y suaves cercanas al piedemonte y una falla regional con orientación NE. Presenta una serie de cauces superficiales que repiten un fracturamiento local que mantiene una influencia con las escorrentía hacia afuera del cauce principal. En el análisis del afloramiento se destaca la presencia y continuidad de este cuerpo arenoso sobre la superficie del terreno. (ver foto)

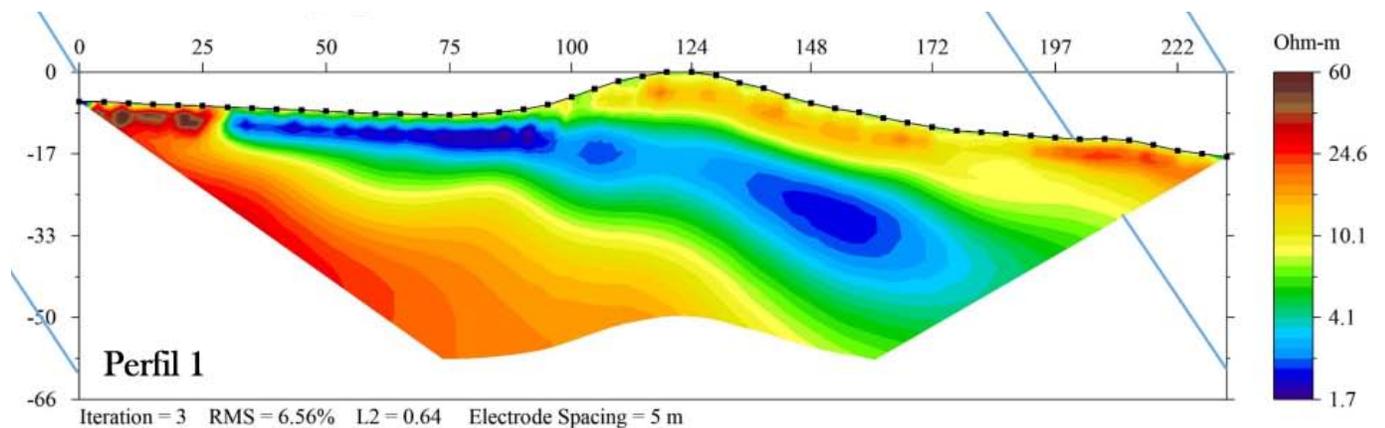


El estudio de los componentes de este talud, conllevó a desarrollar una interpretación de la geología local y su posible influencia en el aporte hídrico basado en la ubicación



Interpretación gráfica del talud

espacial de las rocas y el afloramiento sobre el camino, aunque siendo un cuerpo subintrusivo meteorizado su comportamiento espacial puede no ser totalmente uniforme. En todo caso, la gráfica siguiente describe la posibilidad de un cuerpo que mantiene una inclinación respecto al terreno superficial y se introduce proyectándose a

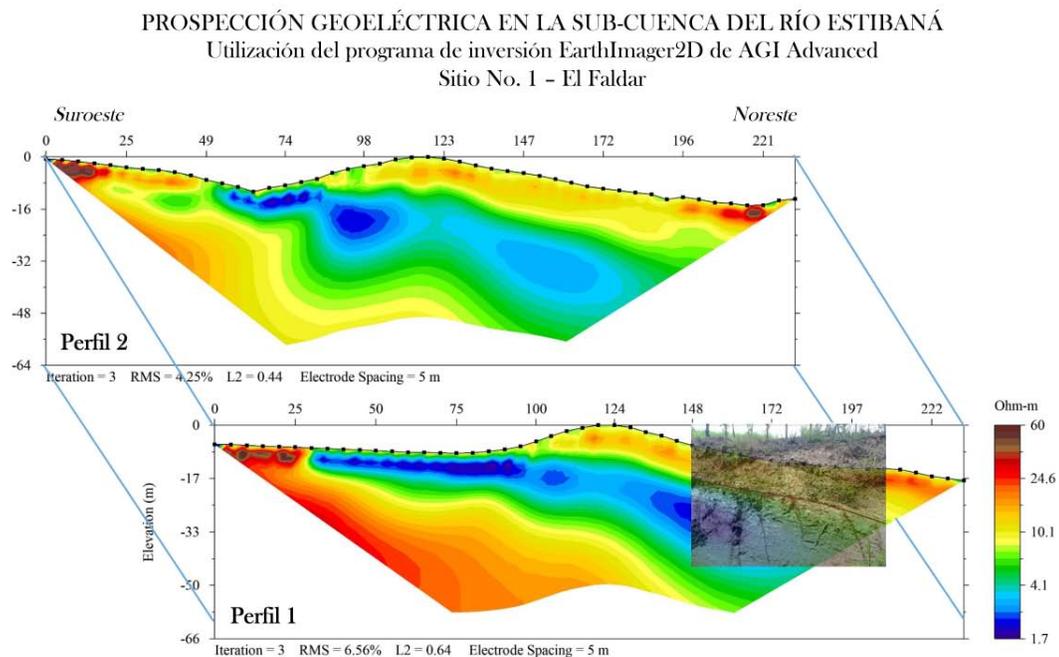


profundidad. Luego de los primeros trabajos de investigación geofísica (tomografías eléctricas), se constató mediante una gama de colores que describen las características de las rocas y el suelo en base a la conductividad eléctrica, que existe un cuerpo con similar proyección espacial.

En la gráfica del perfil 1, los resultados de la tomografía eléctrica practicada en el sitio El Faldar muestra la presencia de un cuerpo con muy baja resistividad que presupone la existencia de una condición favorable de porosidad asociada a la presencia de líquido [Agua]. La conformación y su inclinación tal cual se describió con anterioridad, indica que subyace a una cobertura impermeable arcillosa que lo convierte en un elemento determinante e influyente sobre los procesos de infiltración y transporte subterráneo del agua en este sector.

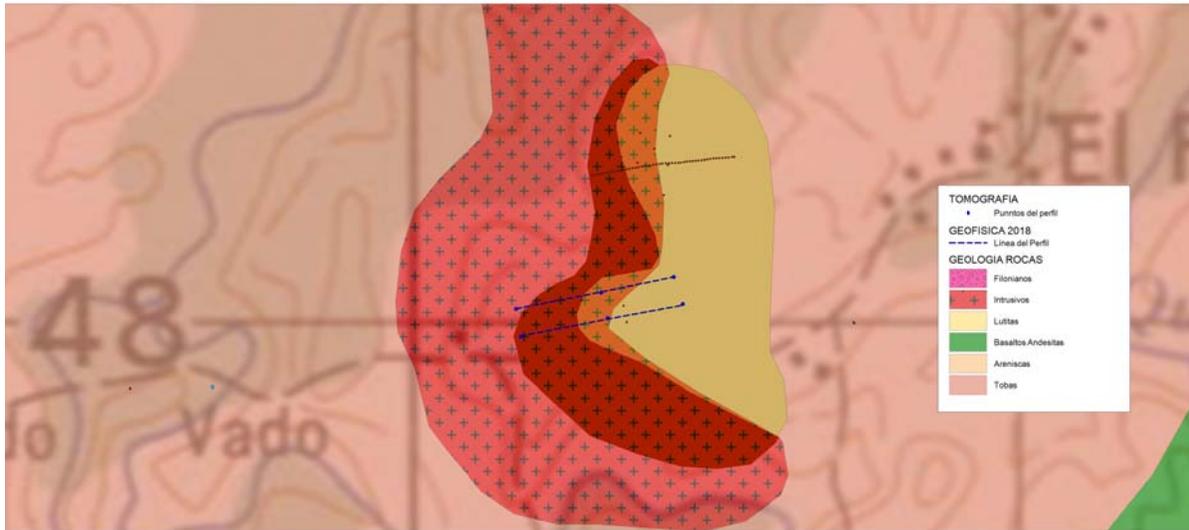
Si hacemos una comparación con la gráfica donde se proyectan los componentes superficiales, existe una similitud que además permite validar la geología en profundidad.

En una segunda campaña de trabajos de reconocimiento y levantamientos geofísicos, se logran establecer nuevos perfiles de manera paralela a los anteriores lo cual permitió de manera preliminar confirmar la continuidad de este cuerpo hacia el Norte. (ver gráfica de ubicación).



Correlación gráfica de perfiles topográficos y sección del talud superficial.

GEOFÍSICA 2 EL FALDAR



* NOTA: Gráficas de tomografías suministradas por el Dr. Alexis Mojica.

El sector 6. En las cabeceras del río Cacao y a lo largo de gran parte de su cauce, se han identificado rocas asociadas a basaltos y andesito-basalto afectados además por una serie de fracturamientos que muestran la intensidad de los procesos tectónicos en esta parte de la subcuenca. Los alineamientos del cauce con falseamientos regionales de orientación NO y la presencia de planos de falla en algunos afloramientos, demuestran además que el flujo superficial de las aguas estará diferencialmente afectado por este sistema de fracturas y fallamientos. En el sitio denominado Río Arriba, se ha localizado un fuerte fracturamiento de las rocas sobre el cauce cuya inclinación y buzamiento contrasta con el flujo normal hacia las partes bajas lo que presupone una limitante física a los procesos de infiltración desde el río hacia las fuentes subterráneas. Es por eso, que este sitio se propone para el desarrollo de estudios de geofísica con el objetivo de identificar la magnitud y extensión de este fallamiento, así como para definir la proyección de los cuerpos rocosos y su influencia como posible pantalla a profundidad. (ver foto)



Río Arriba



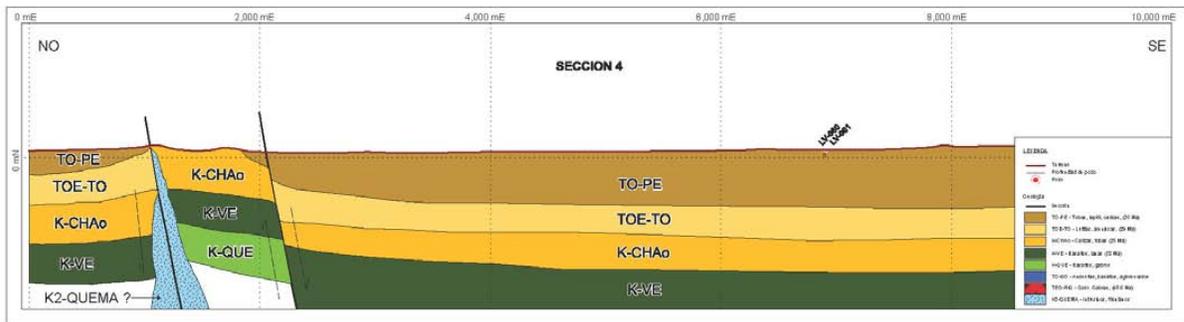
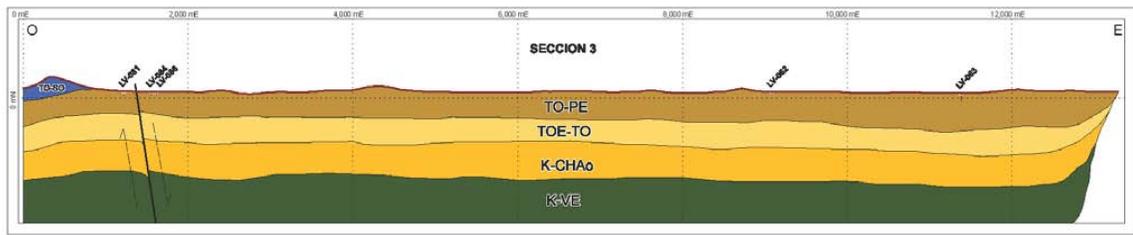
El sector 7. La definición de los grupos rocosos ha sido uno de los objetivos principales de la investigación geológica de campo y uno de los primeros sitios propuestos para desarrollar trabajos de geofísica es el sector que comprende las cabeceras del río Estibaná. En este sector se han identificado rocas volcánicas y hacia las partes altas del cauce, se encontraron grandes afloramientos de roca intensiva metalizada en contacto con volcánicos. Las rocas intensivas meteorizadas generan un suelo arenoso equigranular dada la constitución de estos cuerpos y su porosidad permite un nivel de permeabilidad de las aguas superficiales. Es por eso que definir los posibles contactos entre estas formaciones ayudará al entendimiento del impacto que pueda tener en el sistema de flujos. es una tarea además identificar la existencia y prolongación profundidad de la falla a lo largo de la cual corre el cauce de este río. Este sitio esta propuesto para topografías eléctricas y posteriormente en apoyo a una correlación de datos geológicos de la zona.

VII. LOS PERFILES

El reconocimiento superficial de afloramientos y el registro digital de cada sitio visitado y analizado constituye una herramienta de obligada referencia para cuando se plantea la necesidad de proyectar los grupos geológicos y rocas predominantes a profundidad. La geología de la región de Azuero y lugares tan puntuales como Estibaná concentran elementos y fenómenos a lo largo de su desarrollo histórico que al identificarse y definirse en campo aportan nuevos conocimientos a la proyección de los mismos. Es por eso que las unidades geológicas plasmadas a partir de esta investigación, modifican la imagen hasta ahora reconocida en materia de distribución espacial. Es oportuno iniciar con una aclaración basada en las observaciones y que introduce un criterio para futuros mapeos y definición de fronteras geológicas. Los aglomerados y tobas pertenecientes o asociados a la Formación Changuinola, lejos de elevarse sobre las laderas de los cuerpos montañosos de esta cuenca, aparecen en los lechos de ríos y quebradas fuertemente afectados por fallamientos regionales y locales. Hacia las cumbres se observó la presencia de rocas de basaltos y andesito-basaltos metaforizados con predominio de bloques y fragmentos redondeados en laderas y cumbres. Esta diferenciación, se hace evidente en Los Leales Arriba, donde incluso se localiza un contacto entre estas rocas y un cuerpo intrusivo pequeño de composición granodiorítica. Para el sector de Los Higos, El Mogollón, el predominio de los basaltos y alteraciones de los mismos es igual de evidente. En la ruta que transita por El Faldar, encontramos con mayor frecuencias las tobas y aglomerados que se suceden con la presencia de materiales alterados y metaforizados (Basaltos) y a medida que se asciende hacia Rio Arriba, sobre los cauces aparecen los afloramientos de andesito basalto fuertemente fracturados y afectados por las fallas regionales (sitio de perfil Río Arriba) . En este punto es oportuno aclarar que las fracturas que afectan a estos grupos de rocas y que además forman parte del cauce del río, mantienen una orientación NNE y un buzamiento SE, contrario al cauce del río, con lo cual se sugiere sobre la presencia de una falla inversa o cabalgadura.

Hay un sector que aún guarda numerosas interrogantes tectónicas y geológicas. Se trata del sector San Luis, donde encontramos lutitas y calizas sobre las cumbres de

cerros al norte de una zona de distensión comprometida con la falla regional Ocú, que se registra con una orientación predominante Este Oeste a lo largo de toda la península. En este sector el mapa geológico registra afloramientos de la formación Chnaguinola-Ocú del Cretáceo Superior [K₂-CHAo], evidenciando que este sector ha experimentado un proceso muy complejo de fracturamientos y movilizaciones dado que las Formaciones Tonosí y Pesé no se registran y hay un salto estratigráfico en esta zona de falla. De igual manera, se ha localizado un afloramiento de rocas porfíricas de composición intermedia asociada a un cuerpo sub intrusivo el cual posiblemente aparece a causa de las numerosas tensiones y fracturas en esta zona. Este sector, obliga al cauce del río Estibaná y algunos otros cauces menores a mantener un alineamiento abrupto Este Oeste en especial en la confluencia con el río La Villa. (ver detalles en perfil 4 y anexos).



Perfiles estratigráficos sugeridos para la parte Norte de la sub cuenca Estibaná

VIII. ESTRATIGRAFIA

La secuencia estratigráfica para la zona central de Azuero en referencia al mapa geológico de la República de Panamá y las descripciones que lo acompañan, establecen en su gran mayoría la presencia de rocas de origen volcánico, asociadas a eventos volcano-clásticos, secuencias tipo **turbiditas** así como coladas de basalto-andesitas que alguna de las cuales dieron como resultado a un grupo de rocas de textura fluida, ondulada, almohadiforme asociadas a la Formación Tonosí-Venao. Este

tipo de rocas se observa frecuentemente sobre las costas y litoral Sur, Sur Este, así como algunas elevaciones prominentes del río Oria y río Cañas.

Las secuencias sedimentarias propiamente dichas, se ubican asociadas al período Cretácico Superior [K₂] y se expresan en acumulaciones de calizas foraminíferas y lutitas. Los aglomerados volcánicos, tobas, se dispersan hacia la parte central en combinación con sedimentos lacustres y fragmentos de fósiles.

Una representación gráfica de la secuencia cronológica se puede observar en una columna geocronológica adjunta [color ocre](modificada A.E.Ruiz 2018), donde se aprecian los períodos de tiempo históricos de la formación de las rocas que conforman esta región central. Sin embargo, la consolidación del istmo y la superficie, durante su desarrollo ha experimentado diversas transformaciones y cambios motivados por fenómenos y procesos volcano-tectónicos singenéticos que han

| ERA | PERIODO | EPOCA | NIVELES | E |
|------------|-------------|-------------|------------|----------|
| CENOZOICA | CATERNARIO | RECIENTE | | |
| | | HOLOCENO | | |
| | | PLEISTOCENO | SUPERIOR | |
| | | | MEDIO | |
| | | | INFERIOR | |
| | | T NEOGENO | PLIOCENO | SUPERIOR |
| | MEDIO | | | |
| | INFERIOR | | | |
| | MIOCENO | | SUPERIOR | |
| | | | MEDIO | |
| | | | INFERIOR | |
| | T PALEOGENO | OLIGOCENO | SUPERIOR | |
| | | | INFERIOR | |
| | | EOCENO | SUPERIOR | |
| | | | INFERIOR | |
| | | PALEOCENO | SUPERIOR | |
| | | | INFERIOR | |
| | MESOZOICA | S CRETACICO | CRETACEO 2 | SUPERIOR |
| MEDIO | | | | |
| INFERIOR | | | | |
| CRETACEO 1 | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

provocado movilización de las rocas originalmente constituidas. Por esta razón, durante el reconocimiento superficial y análisis de las rocas predominantes, se han identificado algunos detalles que por su carácter geológico, aparecen como elementos nuevos que deben ser considerados, otros elementos deben ser investigados.

La secuencia geológica en la conformación de la región central apunta a procesos tectónicos complejos que motivaron la movilización de la corteza oceánica basáltica mediante desplazamientos horizontales hacia el encuentro con la placa del Caribe. (ver detalle de mapa geomagnético) Los movimientos hacia el Norte en combinación con las fracturas de orientación E-O de esta corteza oceánica; así como fallas oblicuas al movimiento resultante de las presiones tectónicas de Nazca-Cocos desde el Sur; motivaron desplazamientos transversales y dada la resistencia de la placa caribeña, se producen contactos y fallas inversas entre estos grandes bloques promoviendo así el hundimiento de la corteza oceánica (Nazca-Cocos), bajo la placa del Caribe. El magma liviano, de composición básica-intermedia (Bs, And, Da), reflota y fractura la zona de contacto, para permitir el ascenso de otro magma y el desarrollo de un volcanismo que al mismo tiempo generó islas durante las primeras etapas de la formación del istmo. Este fracturamiento, en conjunto con las erupciones, experimentaron ciclos de ascenso y deposición de grandes cantidades de productos piroclásticos y lavas continentales. Las secuencias volcanosedimentarias, se observan claramente en el sector de Estibaná, El Guásimo incluso en el sector de Espino Amarillo. En todo este período comprendido entre el Cretácico Superior y el Mioceno la deposición y consolidación de unidades geológicas presentan aún numerosos vacíos e interrogantes en materia estratigráfica y datación de sus elementos más consistentes como para ubicarlos correctamente en la cronología geológica.

IX. INCONSISTENCIAS.

Esta sección de observaciones y comentarios que además integra nuevos elementos a las discusiones sobre el desarrollo del istmo panameño y en especial esta zona central que registra el componente de rocas más antiguas sobre esta superficie, plantea inquietudes e interrogantes relacionadas con los ciclos que motivaron la formación y consolidación de lo que hoy conocemos como superficie. En el caso específico de la subcuenca Estibaná, donde la variedad de rocas y afloramientos encontrados apunta a la presencia y confirmación de un ambiente con predominio volcánico, expresa momentos de una relativa calma cuando vemos las acumulaciones sedimentarias incluso intercaladas con secuencias volcanoclásticas [Formación K-CHAO] con calizas y estratificaciones de tobas y basaltos. de igual manera cuando vemos las rocas pertenecientes a la formación Pesé [TO-MACpe] que integra tobas, areniscas y calizas sucias. Es completamente aceptable dado que el desarrollo de la región se plantea entre desplazamientos horizontales y fracturas que fueron aprovechadas para permitir un volcanismo sobre una plataforma joven, cercana a los litorales. Esto permitió que los flujos y erupciones se depositaran tanto en la parte continental como en los sectores dominados por cuerpos de agua.

La región que comprende el sector Sur Este de la cuenca del río La Villa y en especial la subcuenca del río Estibaná presenta una secuencia estratigráfica compuesta por formaciones volcánicas, sedimentarias y afectaciones por cuerpos intrusivos asociados al batolito El Montuoso. En el análisis de las rocas predominantes y la relación de estas con los ciclos sedimentarios a lo largo del período comprendido desde el Cretáceo Superior [Piso Campaniano-Maastrichtiano con 70.6 y 65.6 Ma, según la escala geocronológica internacional], y el Plioceno [3.6 Ma], se registran eventos volcánicos sobresalientes como la deposición de sedimentos finos y precipitaciones químicas (calizas), de considerable extensión [Formación K-CHAO] así como coladas de basaltos, lavas y tobas de la formación Tonosí, Pesé y Playa Venado. En este universo de eventos, se registra la presencia de cuerpos intrusivos a finales del Paleoceno [55.8 - 48.6 Ma], pero que aún necesitan mayores detalles de estudio dado que su efecto en las rocas encajonantes es poco conocido excepto en el Sur Este de la península con la

formación de pseudomármoles y un tipo muy incipiente de skarn en río Oria. A esto, se debe considerar la existencia de otros cuerpos subintrusivos de composición básica de textura porfirítica como apófisis posteriores con posibles procesos neumatolíticos impulsados por fracturas.

Antes de la aparición de estos cuerpos intrusivos, se registra un lapso de 8.0 Ma en donde se supone existió una calma asociadas a procesos intensos de erosión. Esta condición sugiere que los eventos sedimentarios y volcánicos posteriores se desarrollan sobre una superficie fuertemente afectada por una intensa actividad erosiva y tectónica que incluso hace desaparecer o mover grandes masas y formaciones de esta región dejando paso a los eventos sedimentarios de las formaciones Tonosí y Pesé conjuntamente con deposiciones volcanoclásticas de la formación Soná, que marcan una etapa formativa precedida de un lapso aproximado de unos 16 Ma ?

Finalmente, encontramos la Formación Santiago en el “Valle Planicie Macaracas”, que acorde a las estructuras morfológicas

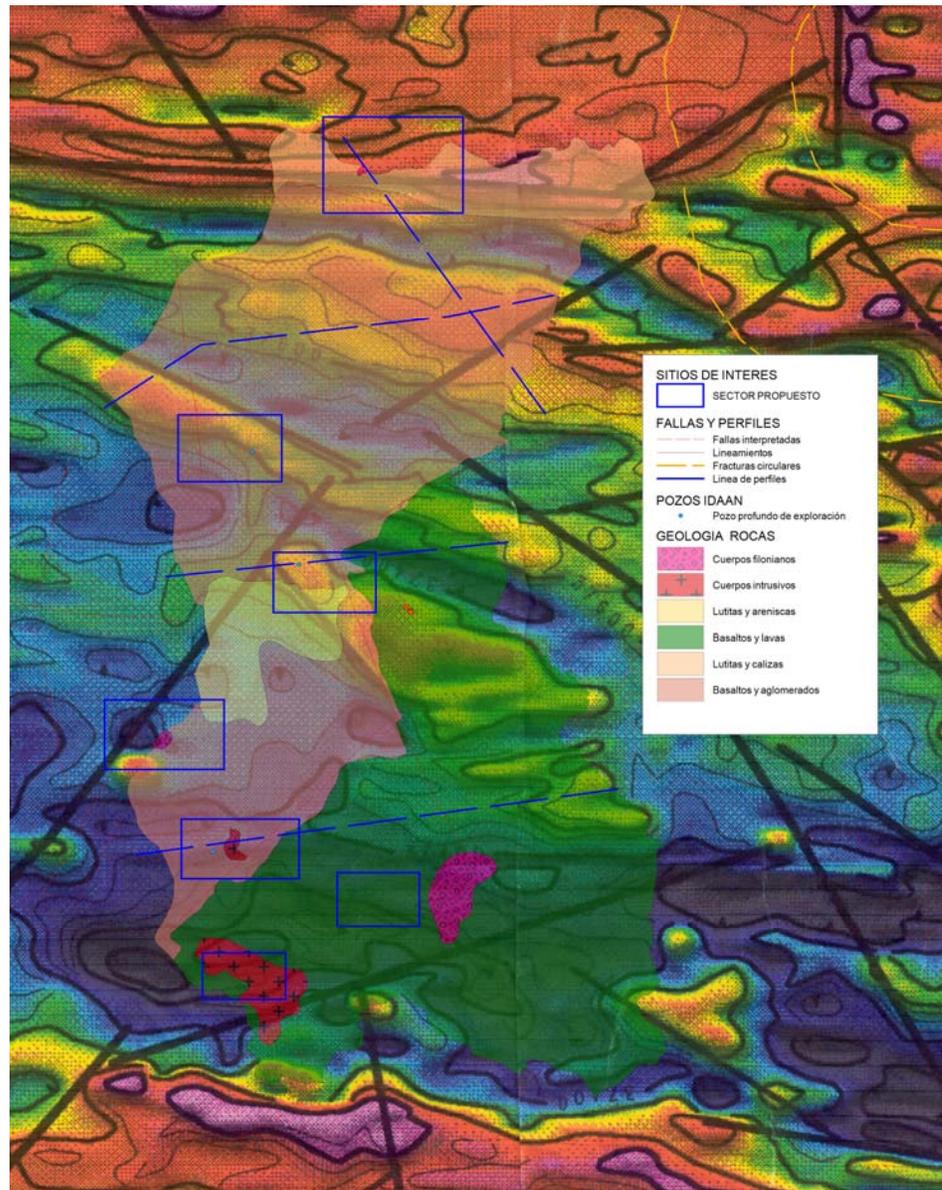
predominantes en la subcuenca Estibaná, se sugiere como un valle colgado que resguarda estos sedimentos entre zonas de distensión de fallas y bloques dispersos.

| EPOCA | Millones | | CODIGO | EDAD | ROCAS |
|-------------------|----------|--|---------|------|----------------------------------------|
| PLIOCENO | | | | | |
| MIOCENO | 10 | | TM-SA | 5.3 | Areniscas, conglomerados |
| | 20 | | | | |
| OLIGOCENO | | | TO-SO | 23 | Andesitas, basaltos y tobas |
| | | | TO-PE | 25 | Tobas, areniscas y calizas |
| EOCENO | 30 | | TOE-TO | 29 | Lutitas y areniscas |
| | 40 | | | | |
| PALEOCENO | 50 | | TEO-RIQ | 48.6 | Cuarzodioritas y gabros |
| | | | K-Qe | | |
| CRETACEO SUPERIOR | 60 | | K_Qe | ? | Gabros porfíticos |
| | | | K-LM | 64.9 | Granodioritas, cuarzodioritas y gabros |
| | | | K-CHAo | 65 | Calizas fosilifera, tobas, corales |
| | 70 | | K-VE | 70 | Basaltos, lavas pilow ? |
| | | | K-QUE | 83 | Basaltos picríticos y gabros |
| | 80 | | | | |
| | 90 | | | | |
| | | | | | Modificada 2018, aeruiz |

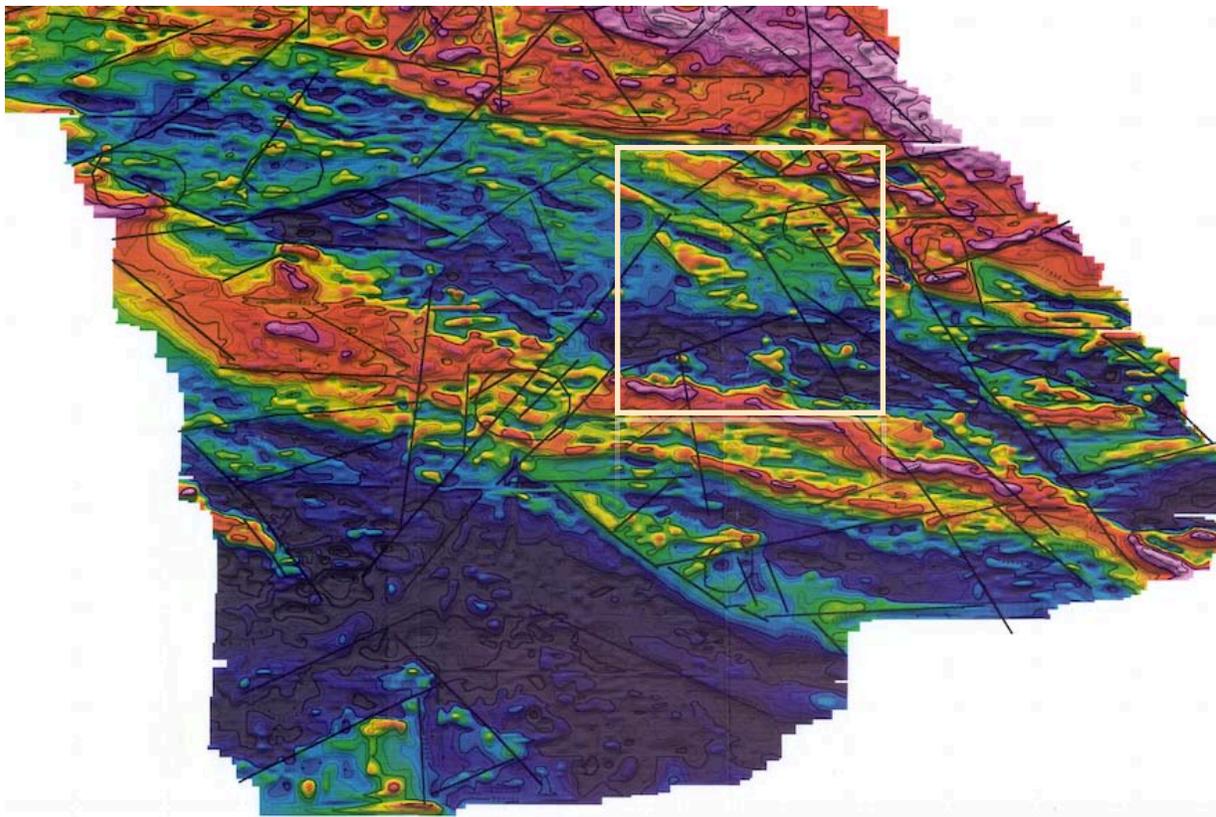
Estas consideraciones estratigráficas nos llevan a definir tres grandes eventos tectónicos que dieron como resultado la deposición y consolidación de rocas volcánicas y sedimentaria sobre superficies de erosión de allí la disconformidad de los contactos y la falta de información intermedia de rocas pertenecientes a la formación Tonosí y además una gran interrogante sobre la pertenencia de las rocas asociadas a la formación Playa venado cuyas lavas almohadilladas no se lograron registrar en campo.

En conjunto la sub cuenca del río Estibaná registra unos períodos de 15 Ma en el Mioceno, 16 Ma en el Eoceno y 8 Ma en el Paleoceno,

asociadas posiblemente a eventos erosivos, tectónicos y grandes interrogantes en materia de caracterización de rocas. Es interesante destacar también que la subcuenca estibaná se localiza dentro de una zona con excepcional anomalía geomagnética asociada posiblemente a una magnetización



remanente de rocas volcánicas que además están alineadas a ciertos fallamientos regionales de orientación Noroeste los que deberán tomarse en cuenta. (ver mapa).



Detalle de mapa geomagnético de Azuero. [valores nT]

X. SISMICIDAD

A pesar del desarrollo y origen volcánico de esta región del país, el componente de sismicidad en la zona central panameña, mantiene indicadores de mediana intensidad. De acuerdo al mapa de aceleración del máximo sismo considerado, los valores, reflejados en los contornos isosísmicos tienen una tendencia a concentrarse hacia el Sur Oeste de la península y en especial alineados a lo largo de la falla Guánico, donde estos contornos isosísmicos son más concentrados de 0.34 hasta 0.48 ubicados estos últimos, en sitios puntuales a lo largo de esta falla. Hacia la parte central de la península, predominan aceleraciones entre 0.34 y 0.26. Es muy importante observar que el contorno isosísmico 0.28 y 0.3, mantiene un comportamiento lineal coincidente con la zona de fallamientos Ocú-Parita. Para el caso específico de la sub cuenca del río Estibaná, en el sector San Luís, también se registra este alineamiento. Cabe destacar también que los contornos están mucho más dispersos que en la parte Sur Oeste. [12]. Este comportamiento de las aceleraciones y su dispersión o concentración puntual sobre el territorio de la región central (Azüero), demuestra que existen eventos de baja intensidad y posiblemente movimientos diferenciales no registrados y que afectan los distintos bloques tectónicos al Nor-Este de la falla Búcaro. Por consiguiente, son un elemento a considerar para el entendimiento de los procesos de desarrollo en la superficie y las posibles influencia sobre el comportamiento de los cuerpos rocosos ya que los reconocimientos en afloramientos y lechos de ríos indican fuertes fracturamientos y numerosas fallas locales impactando la geología y morfología de este sector. Es interesante destacar también que la subcuenca estibaná se localiza dentro de una zona con excepcional anomalía geomagnética [11], asociada posiblemente a una magnetización remanente de rocas volcánicas que además están alineadas a ciertos fallamientos regionales de orientación Noroeste los que deberán tomarse en cuenta. (ver mapa geomagnético de Azüero adjunto).

XI. TRABAJOS REALIZADOS

Al momento de finalizar una etapa de investigaciones geológicas y en la zona, es posible manifestar que se han realizado alcances significativos tanto en la parte superficial como subterránea. En este caso y basado en las revisiones de los materiales de archivo, se logró identificar la existencia de pozos de exploración desarrollados por el IDAAN y al revisar su estado físico se sugirió el análisis petrográfico de una serie de muestras a determinadas profundidades. De este trabajo se ha logrado el reporte de 11 muestras que fueron procesadas mediante cortes con sierra de diamante, analizadas visualmente y luego fueron procesadas para los análisis petrográficos correspondientes. En general, se cuenta con una información muy valiosa a profundidad en donde el pozo MP-03 desde la superficie y el fondo, se compone por rocas volcanoclásticas con una diversidad de fragmentos, pero que en general se clasifica dentro de las rocas piroclásticas tipo toba lapilli. Esto sin dudas, es un indicativo muy valioso en materia geológica local y regional ya que esta descripción corresponde a una columna de 300 metros de estos sedimentos volcánicos y que en futuras correlaciones con los afloramientos superficiales servirá de una referencia importante.

En materia superficial, se ha logrado el reconocimiento de numerosos afloramientos en el área de la subcuenca y fuera de ella, acompañando sus descripciones con muestras de mano que se enviaron para análisis petrográfico. Se cuenta con con con 32 muestras analizadas incluyendo las del pozo MP-03 que serán incorporadas los datos que se presentarán en mapas temáticos y descriptivos de la subcuenca.

Es importante destacar además el trabajo de coordinación entre profesionales de otras especialidades con los cuales hemos coincidido en reuniones y giras de campo y con quienes se lograron campañas para el establecimiento de los perfiles de geofísica, que han dado resultados muy importantes y aportes significativos para proyectar los datos geológicos, geofísicos e hidrológicos hacia el objetivo de poder definir el comportamiento de las aguas dentro de esta subcuenca. En materia de geología superficial y con las informaciones colectadas, se ha logrado establecer límites para las formaciones geológicas tomando como referencia la presencia de fracturas y fallas

regionales. De igual manera, la confección de cuatro perfiles temáticos que describen una versión moderada de la conformación estratigráfica de los conjuntos volcánico-sedimentarios predominantes y aflorantes en la zona. Es de considerar que aún quedan numerosas interrogantes y puntos de interés, pero que necesariamente demandarán mayor cantidad de tiempo y recursos.

XII. RECOMENDACIONES y SUGERENCIAS

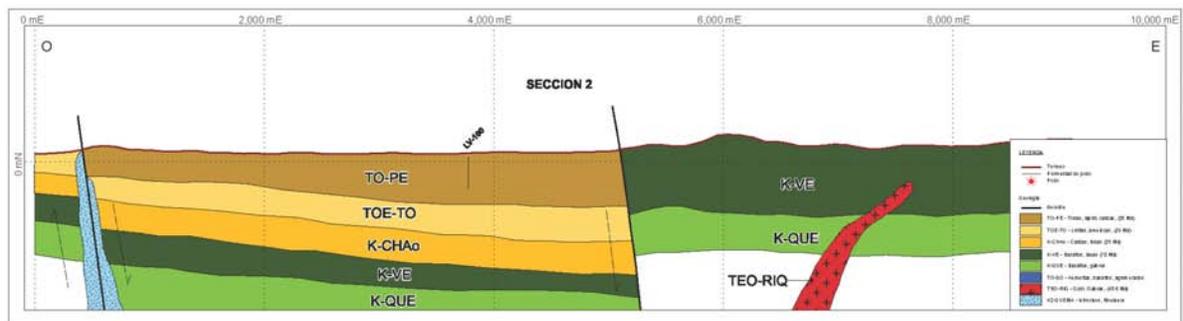
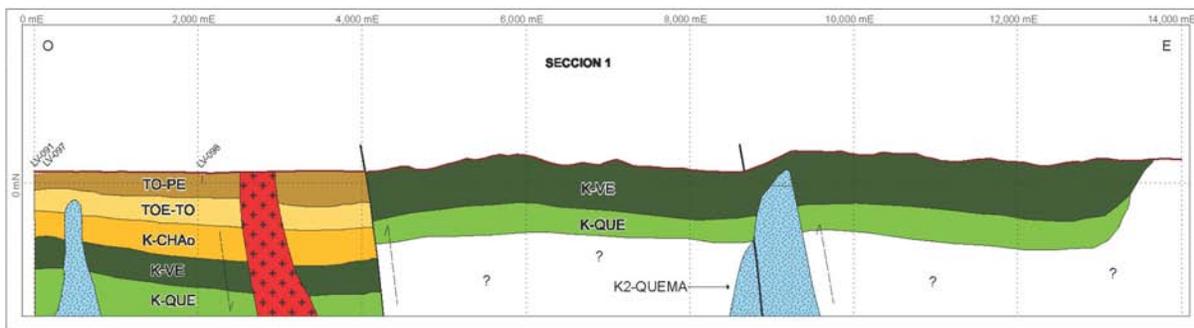
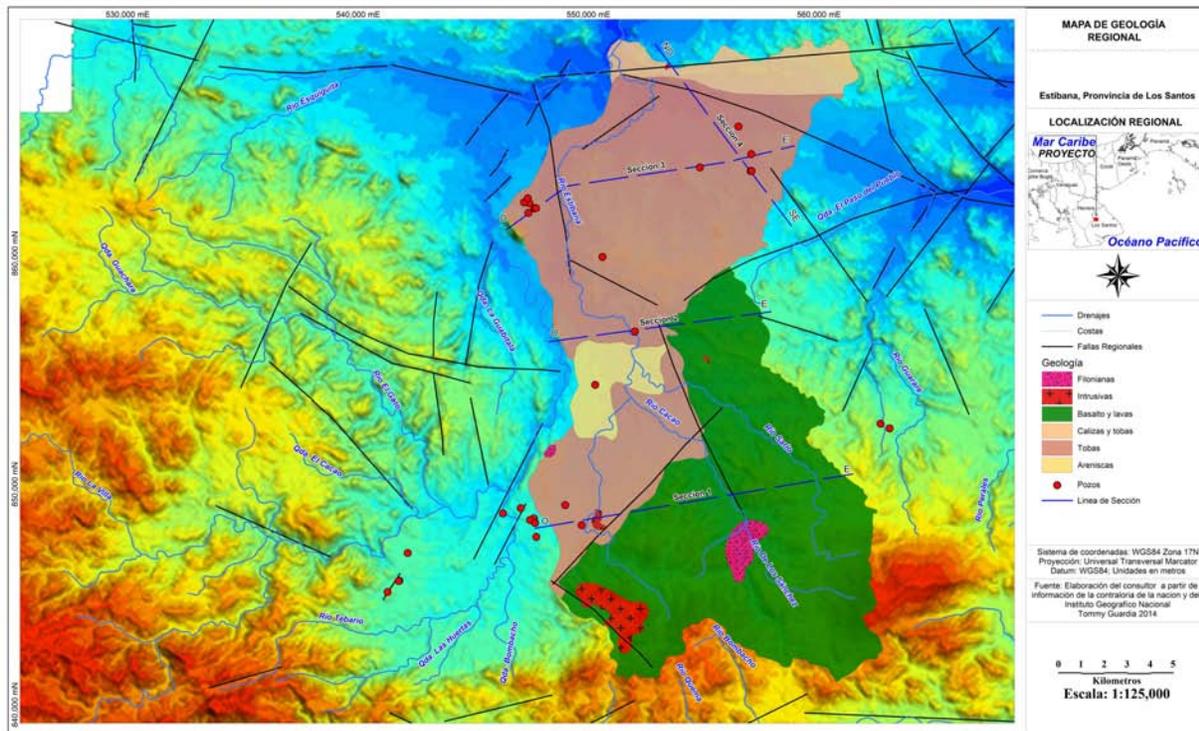
En el contexto general y las condiciones de acceso para identificar otros parámetros que ayuden a definir comportamientos en el régimen hídrico, se han realizado sugerencias para la implementación de una serie de pruebas superficiales que permitan determinar ciertos indicadores y patrones asociados a los grupos predominantes de rocas y suelos residuales generados por su desintegración o por acción meteórica. Es importante prestarle atención a la morfología de esta zona y en especial dentro de la sub-cuenca, así como a los fallamientos y fracturas locales dentro de los cauces y fuera, ya que su registro y mensura coadyuvará a la proyección de los mismos de manera espacial y localizar puntos de encuentro o contactos entre formaciones rocosas y/o sedimentarias que pueden estar interconectados en el flujo de las aguas.

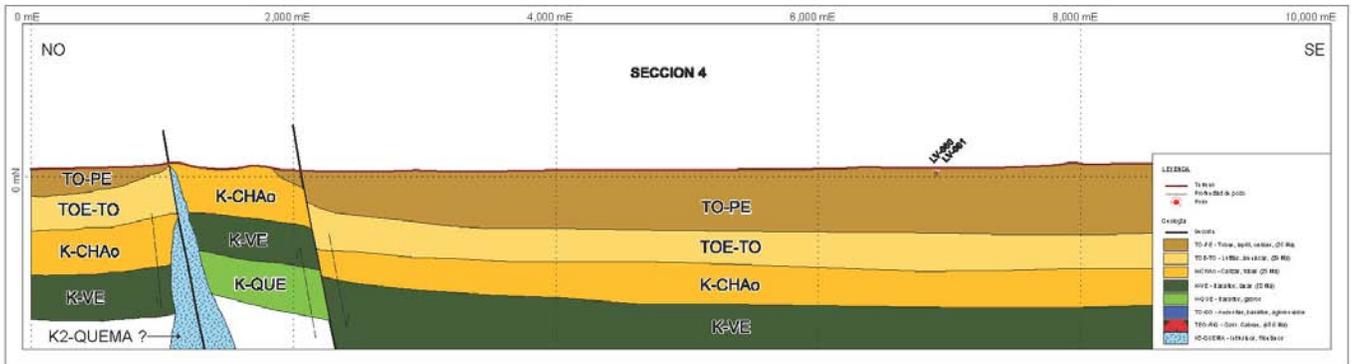
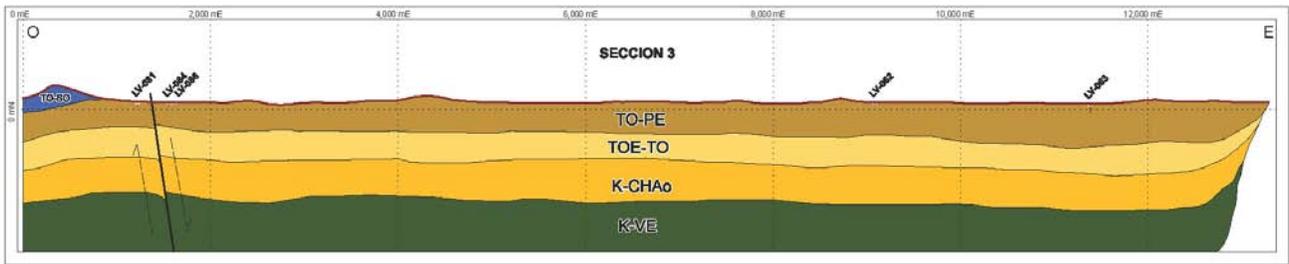
Se han localizado fracturas en lechos de ríos que mantienen un alineamiento paralelo, pero también existen otras que interceptan estos cauces como lo es el caso muy particular de Río Arriba. Futuros trabajos sistemáticos asociados a los suelos es de considerar para apoyar variables dentro del modelo que se pretende gestionar.

XIII. ANEXOS



Mapa de sismicidad de la región central de Panamá. [Fuente REP 2014]





REFERENCIAS:

1. Roberto Miranda. Geología del área de Loma Espino Tonosí, Los Santos. 1976
2. Emérito Rodríguez, Reporte sobre evaluación de material. Cerro Quema, 6 de octubre 1994.
3. Tomás Baxter, Reporte sobre evaluación de material. Cerro Quema, 30 de octubre 1994.
4. A. E. Ruiz. Informe de perforaciones y evaluación de material. Cerro Quema 25 de noviembre 1994.
5. E. Rodríguez, L. Pérez, A. Ruiz. Informe General de Exploraciones, Cyprus Panamá, 22 dic 1995.
6. Benz, H.M., Tarr, A.C., Hayes, G.P., Villaseñor, Antonio, Furlong, K.P., Dart, R.L., and Rhea, Susan, 2011, Seismicity of the Earth 1900–2010 Caribbean plate and vicinity: U.S. Geological Survey Open-File Report 2010–1083-A, scale 1:8,000,000.
7. Wegner, W., Wörner, G., Harmon, R.S., and Jicha, 2011, Magmatic history and evolution of the Central American Land Bridge in Panama since Cretaceous times: Geological Society of America Bulletin, v. 123, p. 703-724, first published online 18 October 2010, doi:10.1130/B30109.1
8. Paul Mann, Jeff Carrigan. Model for late Neogene deformation in Panama. Junio 1990.
9. Mapa Geológico de Panamá. Tommy Guardia. 1997
10. Humberto Chirif, Jorge Acosta. Depósitos tipo pórfidos, Lima 2013.
11. www.armada.mde.es, anomalías magnéticas.
12. Mapa de aceleración del Máximo Sismo Considerado, REP 2014, mapa S₁-A,. Panamá, junio 2015.
13. Wencke W. Wegner. History and geochemical evolution of igneous rock forming the Panama land bridge since Late Cretaceous. Göttingen 2011

Alberto Einstein Ruiz De León

MSc. Ing. Geólogo