

# Modelo hidrogeofísico de intrusión salina en el acuífero costero de Punta Chame, Panamá Oeste.

Pedro Salinas Serrano<sup>1</sup> y Guillermo F. Burke Mena<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Hidrogeólogo Idóneo, Investigador, Consultor en Geowater Consult, Panamá, República de Panamá

<sup>2</sup> Profesor, Facultad de Ingeniería y Tecnología, Universidad Católica Santa María la Antigua (USMA), Panamá, República de Panamá

\* Autor para correspondencia. Email: [gburkem@usma.com.pa](mailto:gburkem@usma.com.pa)

Recibido: 12 de abril de 2016

Aceptado: 14 de mayo de 2016

---

## Abstract

This research focuses on the hydrochemical characterization of water from existing wells in Punta Chame for the study of saline intrusion. A method based on electrical resistivity tomography was used to obtain high-resolution electrical images in order to identify and delimit the geometry of the lithostratigraphic boundaries by resistivity contrasts. The results show a significant deterioration of groundwater. High degree of salinization, increased conductivity and high concentration of chloride are evidence of the presence of saltwater intrusion. The primary salinity and pollution of the unconfined aquifer of Punta Chame are linked to natural factors such as human activity, climate, natural drainage patterns, topography, geological structure, the closest distance to the sea and the indiscriminate exploitation of groundwater resources.

**Keywords:** Hydrogeology; Electrical tomography; Apparent Resistivity; Conductivity; Saltwater intrusion.

## Resumen

La presente investigación se centró en la caracterización hidroquímica de las aguas de los pozos existentes en Punta Chame, con el objetivo de estudiar el fenómeno de la intrusión salina. Se utilizó el enfoque basado en la tomografía de resistividad eléctrica para obtener imágenes eléctricas de alta resolución que permitieron identificar y delimitar la geometría de los límites lito-estratigráficas, por contrastes de resistividad. Los resultados obtenidos muestran un deterioro significativo de las aguas subterráneas. El elevado grado de salinización, el aumento de la conductividad y la alta concentración de cloruro, evidencia la presencia del fenómeno de intrusión salina. La salinidad primaria y la contaminación del acuífero libre de Punta Chame, están vinculados a factores naturales, como la actividad humana, el clima, los patrones naturales de drenaje, características topográficas, la estructura geológica, la distancia próxima al mar y la explotación indiscriminada de los recursos del agua subterránea.

**Palabras clave:** : Hidrogeología; Tomografía eléctrica; Resistividad eléctrica; Conductividad; Intrusión salina.

## 1 Introducción

El desabastecimiento de agua está afectando gravemente las condiciones de vida de miles de panameños que habitan en áreas costera del pacífico panameño; Punta Chame no escapa de este problema. La capacidad de las fuentes de aguas y la disponibilidad de agua en Punta Chame están siendo afectadas directamente por el vertiginoso incremento de la demanda de este vital líquido, como producto del crecimiento poblacional, la construcción vertiginosa de varios complejos turísticos, las descargas de aguas servidas no tratadas por falta de un sistema de alcantarillado de depuración de la agua servida, eventos climáticos asociados a huracanes, el fenómeno de El Niño, y las graves consecuencias de sequías estacionales que extiende los periodos de déficit de agua más allá de seis meses al año.

Los problemas de agua en Chame datan de más de una década. En el 2007 se presenta los primeros problemas después de haberse construido la planta potabilizadora de Chame, donde los residentes de Chame se quejan ante al director Nacional del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), Juan José Amado III, de que las aguas en sus residencias están saliendo chocolate y con sedimentos, aduciendo el director que los problemas existentes son consecuencia del mal trabajo realizado por la empresa Equipos y Materiales Panedi S.A (1).

En el 2012, César Castillo—de la Unidad de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM)—manifiesta que la zona costera de Panamá Oeste presenta un serio problema por el cambio climático, lo que provoca que los recursos hídricos se salinicen, situación que motiva a buscar nuevas fuentes de agua potable para el consumo de la población de Punta Chame (2). El funcionario explicó que desde hace años poblaciones de Punta Chame vienen sufriendo el problema de tener que tomar agua salobre, por lo que están en la búsqueda de otra fuente en el cerro Chame, a unos diecisiete kilómetros de Punta Chame.

El acuífero costero de Punta Chame es susceptible a contaminación por el tipo de suelos arenosos característicos de esta formación geológica existente en el área. En la actualidad se desconocen las características hidráulicas, hidroquímicas e hidrogeológicas de este acuífero. Según datos recabados por el Departamento de Fuentes Subterráneas del IDAAN, se han encontrado pozos fallidos en el área de estudio, por ser salobres. Por falta de un equipo de investigadores en la unidad, se desconocen las razones de este problema. Tras una serie de visitas a oficinas regionales de instituciones estatales (IDAAN; Ministerio de Salud y Ministerio de Desarrollo Agropecuario), se evidencia la falta de información litológica, parámetros hidráulicos y parámetros químicos de los pozos.

Esta fue una de las razones por la cual se pensó en la necesidad realizar el estudio hidrogeofísico e hidrogeoquímico del área. De aquí, que este estudio pueda ser utilizado como análisis preliminar de un posible problema de contaminación por desplazamiento de la cuña salina hacia el litoral (intrusión salina) causada por bombeos descontrolados de los pozos cercanos a las costas. La información que

se releve de esta investigación servirá a las diferentes instituciones como punto de referencia para futuras decisiones y para nosotros como punto de partida para futuras investigaciones.

Este estudio trata de determinar y evaluar las características de las aguas subterráneas, describir el origen y distribución espacial de las aguas subterráneas salinas en la zona costera de Punta Chame. Tres grupos principales de calidad de agua se producen en el área de estudio, es decir, las bicarbonatadas cálcicas, las cloruradas y las aguas de mezcla. El principal proceso de control de la química del agua subterránea es el intercambio de calcio y de sodio entre la matriz del acuífero y el agua de intrusión salina. La intrusión de agua de mar en el sistema acuífero costero se produce como resultado de exceso de bombeo de agua de mar.

## 2 Materiales y métodos

### 2.1.1 Zona de estudio

El corregimiento de Punta Chame se encuentra localizado en el Distrito de Chame de la Provincia de Panamá Oeste, República de Panamá; georreferenciada aproximadamente a los 8°39'0" de latitud Norte y 79°42'0" de longitud Este. Su superficie territorial de 17,0 km<sup>2</sup> con una población aproximada de 500 habitantes, con un clima tropical de sabana (Aw), tipo de clima que caracteriza a la mayor parte de la República. Cuenta con una precipitación pluvial anual que van de 60 mm a 2 000 mm, con precipitaciones bajas en la estación seca y precipitaciones altas en la estación lluviosa, además su temperatura oscila entre 26° C y 28° C, ligeramente húmedo (información de los Censo Nacionales 2010).

Punta Chame pertenece a la cuenca hidrográfica 138 (Ríos entre el Antón y el Caimito), con una extensión de 1476,0 km<sup>2</sup>. Los humedales mantiene influencia mareal, la escorrentía superficial según el mapa de isoescorrentía de ETESA, oscilan entre 0 a 250mm.

En el corregimiento de Chame predominan dos tipos de formaciones geológicas, estas son la formación geológica de Río Hato y la formación geológica de Tocué (Figura 1).

El área donde se desarrolló el proyecto de Punta Chame está representada, en su mayoría, por la formación Río Hato (QR-AHA), compuesta por conglomerados, areniscas, lutitas, tobas, areniscas no consolidadas y pómez (3). La formación geológica con menor presencia es la de Tocué (TM – CATu), compuesta por andesitas, basaltos, lavas, brechas, tobas y "plugs" (3).

### 2.1.2 Recopilación y síntesis bibliográfica

Para la recopilación de la información existente se visitaron las instalaciones de la Dirección de Agua y Saneamiento en la Dirección Regional de Panamá Oeste del Ministerio de Salud, el Departamento de Fuentes Subterráneas del IDAAN en la ciudad de Chitré, en el Departamento de Agua de la Dirección de Ingeniería del Ministerio de Desarrollo Agropecuario en la provincia de Veraguas y en la Dirección de Cuenca de la Autoridad Nacional del Ambiente. En vista de la falta de información documental, se obtuvo información verbal de aquellos que realizan las perforaciones.

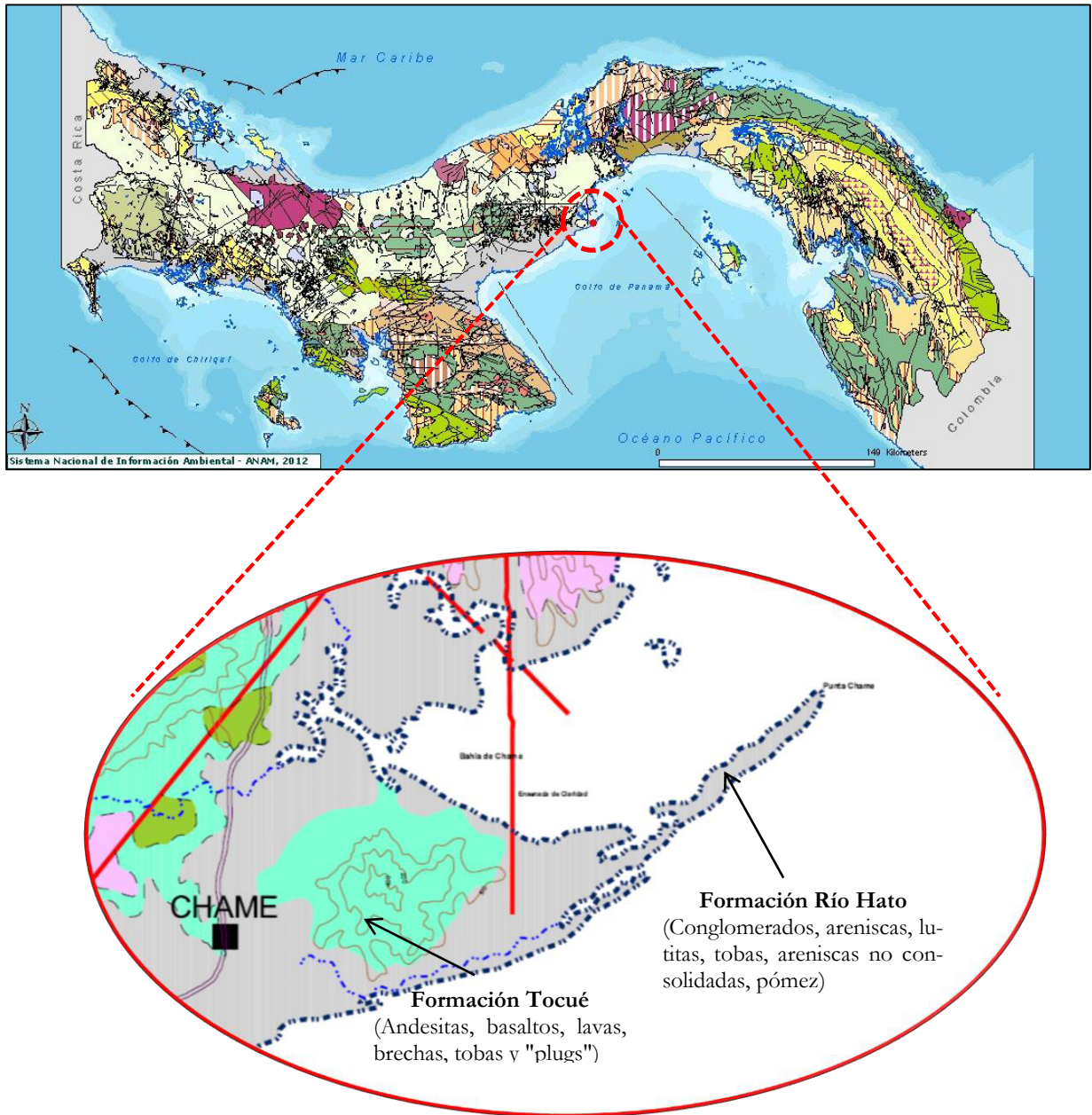


Figura 1. Geología Local de Punta Chame. Adaptado de “Geología de la República de Panamá”, por Autoridad Nacional del Ambiente en Sistema de información ambiental (<http://mapserver.anam.gob.pa/website/geologia/viewer.htm>), 23 de enero de 2012.

La estación meteorológica más cercana se encuentra ubicada en Chame. Los datos de dicha estación fueron suministrados por ETESA, para realizar los gráficos comparativos de precipitaciones durante el periodo 1978–2010.

## 2.2 Operaciones de campo

### 2.2.1 *Geología*

La campaña geológica para identificar las diferentes formaciones geológicas existentes en el área de estudio y su verificación in situ con el mapa geológico existentes se realizó con la ayuda del geólogo Eric Tejeira, En el área de estudio se identificaron las formaciones Tocué y Río Hato. La formación TM-CATu del Grupo Cañazas- Tocué constituida por materiales volcánicos como andesitas, basaltos, lavas, brechas y tobas, que es la que tiene las características más favorables para recibir, almacenar y transmitir agua, es decir con los elementos necesarios para definirla como con capacidad acuífera (Figura 2).



Figura 2. Formación Tocué (panel izquierdo) y Formación Geológica Río Hato (panel derecho)

La formación sedimentaria Río Hato (QR – Aha) del Grupo Agudulce del Cuaternario Reciente compuesto por areniscas, lutitas carbonosas, conglomerados, depósitos orgánicos con pirita, tobáceas y arcillitas.

### 2.2.2 *Mediciones geofísicas*

Se realizaron 21 tomografías eléctricas perpendiculares a la costa. La separación entre electrodos fue de 3,0m y se utilizaron un total de 25 electrodos y 28 electrodos. La matriz de electrodo utilizada fue Wenner.

Para obtener una calibración de los resultados se procedió a realizar 7 tomografías eléctricas paralelas a los pozos que se encontraban en el área poblada. Estos pozos son los que abastecen de agua al poblado. De estas 7 tomografías eléctricas se realizaron 2 tomografías eléctricas de 6 m de separación de electrodos, para recomendar futuras perforaciones.

Se realizaron dos tipos de arreglos eléctricos para comparar la respuesta de la resolución de la tomografía eléctrica, estos arreglos fueron: Wenner y Schlumberger. De esta comparación resultó mejor realizar la Wenner la cual ofrecía una mejor resolución de las tomografías eléctricas.

A cada una de las tomografías se les tomaron sus coordenadas con el GPS. Luego se representó su ubicación espacial en el área de estudio. Las tomografías eléctricas se tomaron en aquellos lugares en

donde era posible la accesibilidad a la costa y en aquellos lugares donde los resultados químicos indicaban indicio de intrusión salina. Con la ayuda de los datos adquiridos en las tomografías eléctricas se detectó la zona de intrusión salina, así como las zonas posibles de perforación

Para realizar las tomografías eléctricas se utilizó el Resistivímetro del Subsuelo de Memoria y PI SUPER STING R1/PI de la empresa AGI (Advanced Geociencias, Inc). El instrumento puede ser programado para ejecutar automáticamente cualquier tipo de estudio de Resistividad/PI, ya que guarda un set de archivos de comando para el uso de distintas configuraciones de electrodos tales como Schlumberger, Wenner, Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo y Polo-Polo..

### 2.2.3 Muestreo de agua subterránea

Paralelamente al muestreo del agua subterránea se realizaron distintas medidas fisicoquímica *in situ*, que concluyeron con la medición de temperatura, pH, y conductividad eléctrica y alcalinidad.

La temperatura del agua subterránea (°C) se midió con un termómetro de mercurio, para verificarla con la sonda multiparamétrica YSI-556, las cuales media simultáneamente a través de sus sensores la temperatura con una precisión de  $\pm 0,15$  °C y rango de medida de  $-5$  °C a  $45$  °C, el pH con una precisión de  $\pm 0,2$  unidades y rango de medida de 0 a 14 unidades, la conductividad eléctrica con precisión de  $\pm 0,5$  % de la lectura o  $0,001$  mS/cm.

La tomas de las muestras se realizó durante el mes noviembre de 2012 y agosto de 2013, antes de la toma de muestra de agua se purgo el pozo para aquellos que no se encontraban funcionando hasta que los parámetros físicos se estabilizasen, el total de muestras medidas fueron 18. Estas muestras se tomaron en partidas de dos por pozo, una para metales y la otra para el análisis de bicarbonatos, nitratos, cloruro y sulfato, en laboratorios específicos.

## 3 Resultados

### 3.1 Hidroquímicos

Con el objetivo de establecer una red o puntos de muestreo para determinar las propiedades físicas y la composición química del agua, se realizó un inventario de captaciones de aguas subterráneas en la primera fase de campo. En este inventario se identificó la gran mayoría de los pozos existentes del área de estudio—que son para uso doméstico—y un número más reducido de pozos para uso de abastecimiento de agua para aquellas personas que no cuentan con aguas en sus casas. A cada pozo se le midió sus coordenadas con un GPS, Garmin Montana 650T y se le identificó con un código Pch. En la Tabla 1 se encuentra dichas coordenadas.

Tabla 1.  
 Ubicaciones de los pozos del área de Punta Chame.

Nombre	X	Y	Nombre	X	Y
<b>Pch01</b>	641673,71	955008,04	<b>Pch11</b>	642983,64	956521,95
<b>Pch02</b>	641695,67	955023,60	<b>Pch12</b>	643077,51	956423,85
<b>Pch03</b>	641590,66	955159,26	<b>Pch13</b>	643103,72	956484,76
<b>Pch04</b>	641858,12	955146,89	<b>Pch14</b>	642906,16	956653,28
<b>Pch05</b>	641877,09	955395,77	<b>Pch15</b>	642382,61	956251,19
<b>Pch06</b>	642307,98	955869,42	<b>Pch16</b>	642679,44	956014,44
<b>Pch07</b>	642091,07	955902,97	<b>Pch17</b>	642126,88	955401,04
<b>Pch08</b>	642294,14	956055,15	<b>Pch18</b>	642346,30	955603,04
<b>Pch09</b>	641829,29	955539,37	<b>Playa</b>	641774,29	954879,00
<b>Pch10</b>	641467,10	954924,41			

Estos pozos fueron ubicados en un mapa georreferenciados a un sistema interactivo de GoogleMaps, (Figura 3) con el fin de establecer la ubicación espacial de los mismos y saber en qué sitios se establecerían las tomografías eléctricas, basados en los resultados hidroquímicos de las muestras de agua.

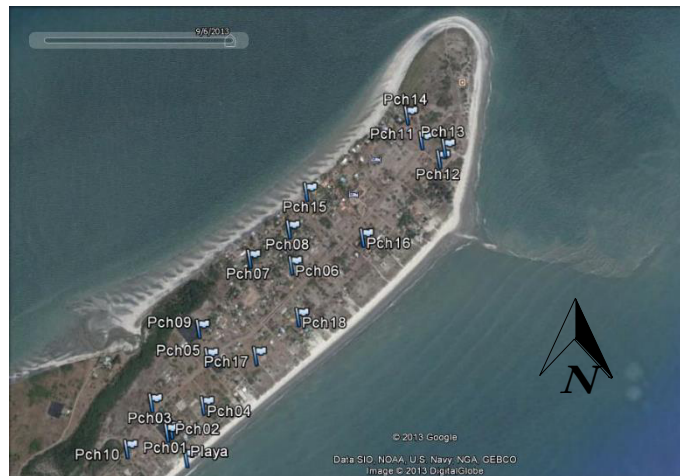


Figura 3. Ubicación Espacial de la distribución de los Pozos de Punta Chame. Fuente: Mapa Interactivo Google Maps.

Los análisis de las 18 muestras de aguas<sup>3</sup> han sido representados mediante diagramas logarítmicos verticales Schoeller-Berkaloff, diagrama de Piper y diagramas de Stiff (Figura 4), todo esto con la ayuda del programa de AquaChem versión 4.0, diseñado por Waterloo Hydrogeologic.

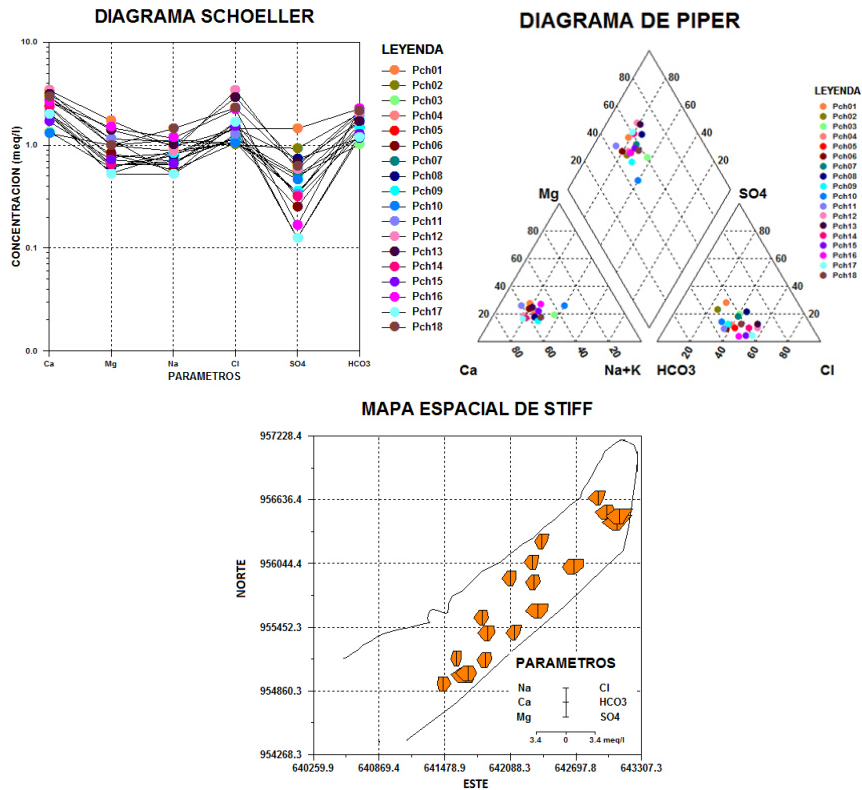


Figura 4. Diagrama de Schoeller, Piper y Stiff de las muestras de aguas de los pozos de Punta Chame.

Los resultados del Diagrama de Schoeller-Berkaloff, nos indica que las aguas subterráneas presentan dos tipos de aguas predominantes las cloruradas y las bicarbonatadas. Indican además que las mayores concentraciones para los cationes el Ca, Mg y Na, mientras que para los aniones el  $\text{HCO}_3^-$ , el  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Mientras que el diagrama de Piper evidencia dos tipos de agua y una tercera que corresponde a agua de mezcla.

En los diagramas de Stiff se puede observar el predominio de los aniones bicarbonato y cloruro, así como de los aniones de calcio y magnesio. El anión predominante en las cercanías de la costa es el cloruro y en la zona central de Punta Chame es el bicarbonato, esto indica la presencia de distintos tipos de agua en Punta Chame, coincidiendo con los resultados reportados en los diagramas anteriores.

### 3.1.1 Conductividad

La isoconcentración de conductividad espacial está representada en la Figura 5. En este mapa se puede trazar la dirección de flujo de agua subterránea, la cual está indicada en las flechas azules. Los mayores valores de la conductividad se encuentran en la costa inferior de Punta Chame. Este aumento se debe a que en esta zona existe una mayor explotación de agua subterránea. Es necesario prestar atención a este comportamiento porque es un indicativo del desplazamiento de la cuña salina.



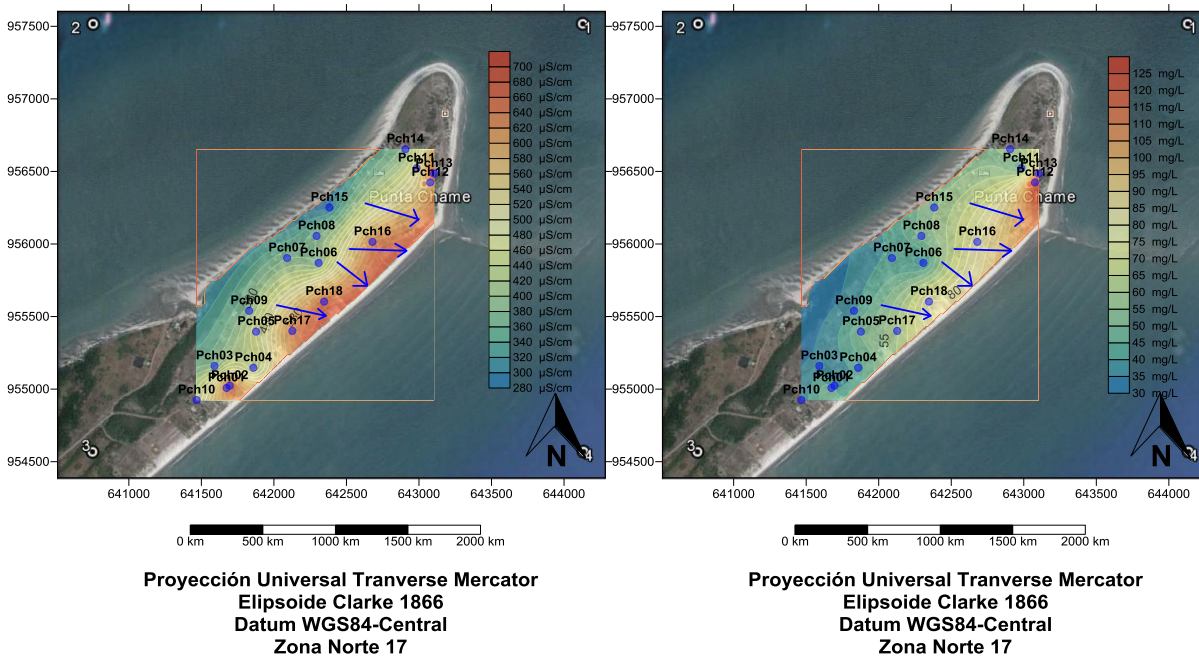


Figura 5. Mapas de isoconcentración de conductividad (derecha) y cloruro (izquierda).

### 3.1.2 Cloruro

Para una mejor representación espacial de la distribución de los iones predominantes se confeccionó, con la ayuda del programa Surfer versión 10, los mapas de isoconcentraciones. La Figura 5 nos muestra también el mapa de isoconcentración de cloruro, como puede apreciar las flechas en azul nos indica la dirección de flujo de las aguas subterráneas, tomando en consideración al cloruro como un trazador poco reactivo durante su recorrido en las aguas subterráneas. En parte de la costa (superior) Norte del Este hasta la parte Sur del Oeste de la costa inferior de Punta Chame, en donde la intensidad del rojo prevalece, se puede establecer el indicio del fenómeno de intrusión salina. Habría que prestar más atención a la explotación de estos pozos que se encuentran en la cercanía de la costa ya que están extrayendo más agua que la que la recarga en la zona le permite. Un control de medida de cloruro en función del tiempo sería una forma de tener un control en la explotación de las aguas subterráneas. Un aumento de cloruro indicaría problema de intrusión salina.

### 3.1.3 Nitrato

El mapa de isolíneas de concentración de nitrato en el acuífero libre de Punta Chame, se elaboró a partir de las concentraciones de nitrato obtenidas en cada punto muestreado de los pozos existentes, trazando isolíneas por interpolación Kriging. En el mapa de isolíneas de nitrato se representó la distribución del contenido como  $\text{mg/L}$  de  $\text{NO}_3$ .

En la Figura 6 se muestra el mapa de distribución del contenido en nitrato en el acuífero libre de Punta Chame. Los colores semáforos indican los lugares más propensos a contaminación: el color rojo los lugares en donde los nitratos ya alcanzaron los niveles permisibles y están a punto de alcanzarlos; el

amarillo indica que hay que tomar medidas de precaución; y el verde, que los niveles están en los niveles permisibles y no existen riesgo. Los colores marcados en rojo o próximo al rojo son lugares en donde existen cúmulos de casas habitadas y, por tanto, tanques sépticos.

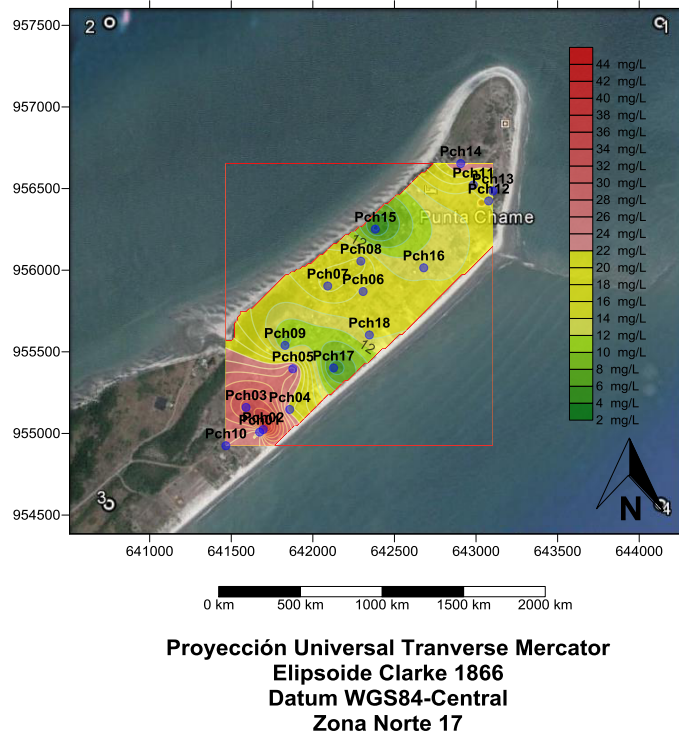


Figura 6. Mapa de isoconcentración de nitrato.

### 3.2 Geofísicos

En esta investigación se muestran los primeros resultados de tomografías eléctricas para delimitar la zona de intrusión salina de las costas de Punta Chame. Las coordenadas de los puntos inicial y final de cada tomografía eléctrica se midieron con un GPS Garmint 650T, y se le identificó con un código TE. La Tabla 2 muestra las coordenadas de cada una de las tomografías eléctricas.

Tabla 2.

*Ubicaciones de los pozos del área de Punta Chame.*

Perfil	X Inicial (m)	Y Inicial (m)	X Final (m)	Y Final (m)	Perfil	X Inicial (m)	Y Inicial (m)	X Final (m)	Y Final (m)
TE01	643088,03	957214,17	643085,43	957133,15	TE12	642354,07	956322,06	642405,81	956258,87
TE02	643285,51	956737,22	643204,95	956730,41	TE13	641766,75	955647,50	641819,10	955590,52
TE03	643243,69	956518,92	643174,32	956534,21	TE14	641529,98	955345,63	641576,21	955301,43
TE04	642760,25	955863,40	642815,20	955817,40	TE15	641354,41	954844,93	641405,74	954895,20
TE05	642523,71	955539,17	642473,89	955590,77	TE16	642874,82	956403,60	642920,88	956459,03
TE06	642232,72	955293,98	642184,91	955346,84	TE17	642189,65	955825,11	642241,75	955874,41
TE07	641743,14	954905,02	641694,69	954960,12	TE18	642270,87	955895,25	642322,33	955945,62
TE08	642815,20	955817,40	642760,25	955863,40	TE19	642058,26	955870,87	641812,80	955372,73
TE09	641686,84	954866,31	641638,58	954919,33	TE20	642323,27	956073,95	641812,80	955372,73
TE10	641595,26	954784,76	641545,46	954837,06	TE21	641803,45	955352,29	641844,31	955398,76

La Figura 7, muestra la representación espacial las tomografías eléctricas en un mapa interactivo de Punta Chame.



Figura 7. Ubicación Espacial de la distribución de las Tomografías Eléctricas en Punta Chame. (Mapa Interactivo Google Maps)

La Figura 8 presenta 6 inversiones eléctricas de los resultados de las tomografías eléctricas de Punta Chame, observadas entre la zona no saturada (altas resistividades), acuífero de agua dulce (resistividades medias) y formaciones con arena y agua salina o salobre (resistividades muy bajas) hace que las tomografías eléctricas y la metodología planteada sean adecuadas para el monitoreo del sistema acuífero costero. Los espesores estimados en las tomografías eléctricas, están en correspondencia con los valores medidos en las perforaciones realizadas.

Se nota bien definida la interfaz aguadulce – agua salada en donde los colores azul y celeste corresponden a formación con alto contenido de agua salada, y los colores verde – amarilla corresponde al área de agua fresca; los colores rojizos corresponden a arena seca con un bajo contenido de humedad.

Con estos resultados de tomografía eléctrica inversa podremos realizar un mapa de iso-resistividad aparente, a una profundidad de un rango de 3 m – 6 m (promedio nivel piezométrico de los pozos medidos). En la figura 10 se zonificó las áreas de Punta Chame donde se presenta Intrusión Salina, como áreas de presunta vulnerabilidad y zonas de posibles perforaciones; estas últimas muy cercanas a los manglares de la zona noroeste de punta Chame.

<sup>a</sup> Se presentan 6 inversiones eléctricas de las 21 tomografías eléctricas realizadas

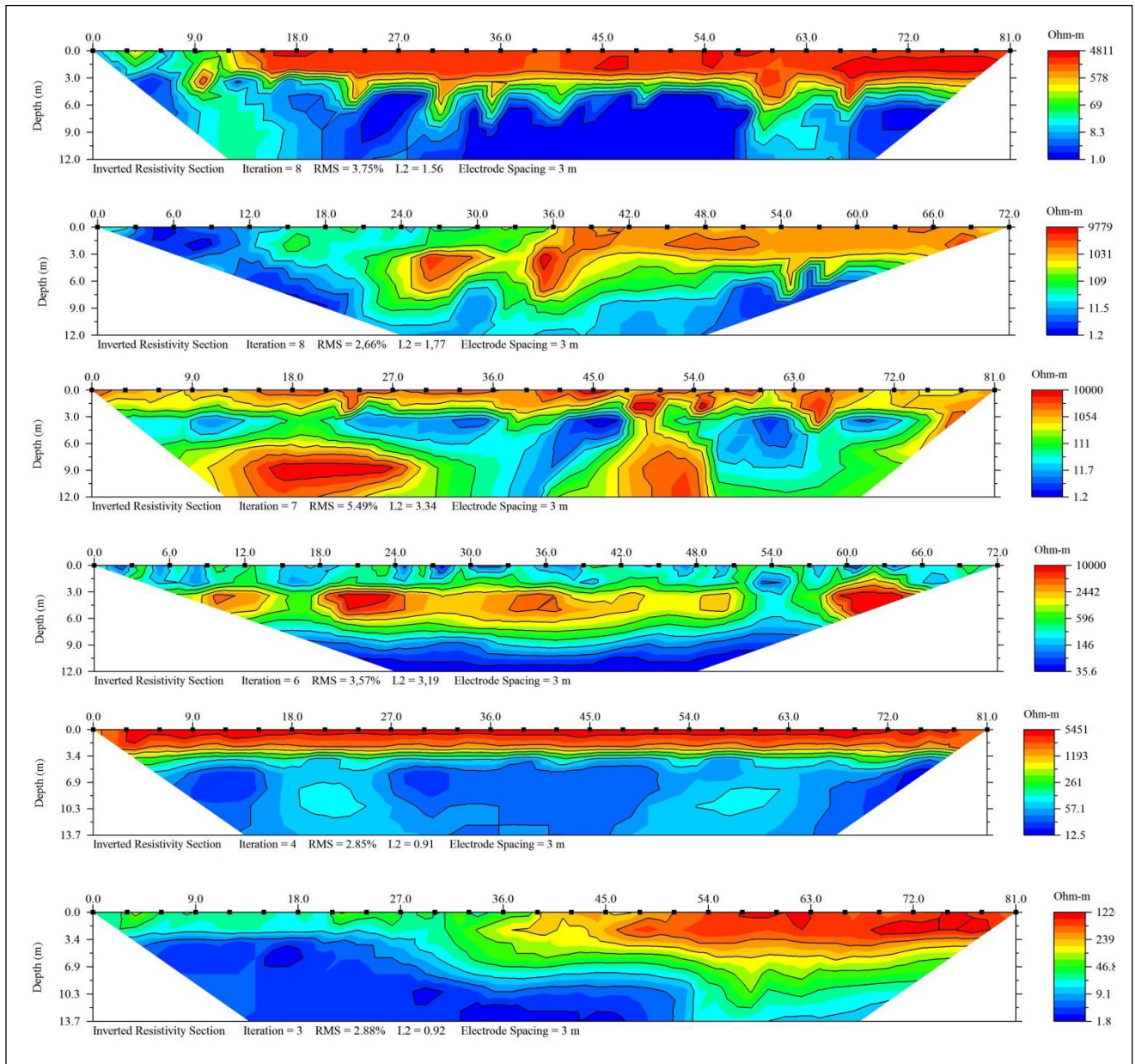


Figura 8. Seis Inversiones de Tomografías eléctricas.

#### 4 Recomendaciones

Las recomendaciones sugeridas van encaminada a una serie de actuaciones tendientes a dar alternativas de solución a los problemas de intrusión marina, partiendo del hecho de que se trata de un problema múltiple y complejo, y la aplicación de medidas preventivas será mucho más eficaz que las correctivas, entre estas tenemos:

- Profundizar en los estudios que permitan una mayor acotación de los diferentes componentes del balance hidráulico y un mejor conocimiento de la geometría interna de los acuíferos y de los mecanismos que provocan en cada caso concreto el avance de la intrusión.
- Limitar o redistribuir espacialmente las captaciones de agua de acuerdo con los resultados obtenidos de esta investigación, tanto en aquellas zonas que presentan indicios de riesgo en donde puede llegar a producirse la intrusión salina.
- Ejercer una labor de vigilancia y control permanente sobre los volúmenes extraídos en las captaciones existentes y en las de realizaciones futuras.
- Colocar dos estaciones meteorológicas para el estudio de balance hídrico.
- Colector de pluviómetros, por los menos tres en toda el área.
- Establecer al menos unos 10 pozos de observación, para establecer una red piezométrica.
- Colocar cinco pozos de observación, cerca de las aéreas pobladas, para diferentes profundidades de muestreo y así lograr monitorear los niveles de nitratos como agua de mezcla.

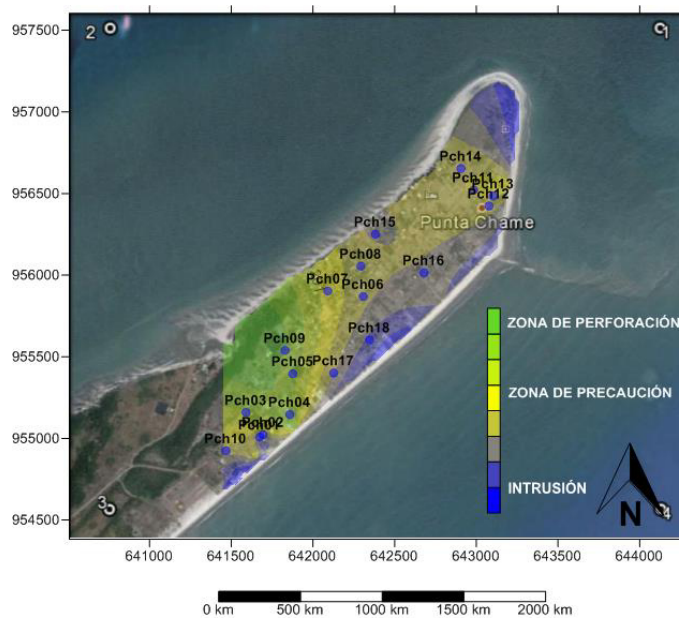


Figura 9. Zonificación de áreas en las cuales se puede—o no—perforar pozos

## 5 Referencias

1. VALDEZ, Elena. Chame exigen agua sin coloración [en línea]. *Panamá América*. 20 de agosto de 2007. Disponible en <http://www.panamaamerica.com.pa/notas/617445-en-chame-exigen-agua-sin-coloraci%C3%B3n>.
2. GRAELL, A. Consumen líquido salado [en línea]. *El Siglo*. 15 de diciembre de 2012. Disponible en <http://www.elsiglo.com/mensual/2012/12/15/contenido/594254.asp>.

3. ANAM [Autoridad Nacional de Ambiente de Panamá]. Geología de la República de Panamá. En: *Sistema de información ambiental*. 23 de enero de 2012. Disponible en <http://mapserver.anam.gob.pa/website/geologia/viewer.htm> .
4. HINOJOSA, H.R. Imágenes de resistividad. En: *Seminario de imágenes de resistividad*. Austin [TX]: AGI. 2010. pp. 2019
5. HUGUET, J. M. *Hidrología: Tipos de Acuíferos*. Santiago [España]: Maestría de las Américas. 7 de Julio de 2005.
6. RÉREZ CEBALLOS, R. y PACHECO ÁVILA, J. *Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán*. México. 2004.
7. SÁNCHEZ, J. *Conceptos fundamentales de hidrogeología*. Salamanca [España]: Universidad de Salamanca. 2009.
8. SÁNCHEZ, M. R. *Conceptos básicos de hidrología de acuíferos subterráneos*. Michigan: Michigan Tech, 2008.
9. Panamaface. [En línea] 2008. [Citado el: 19 de mayo de 2012.] Disponible en [http://www.panamaface.com/sp/locality/locality\\_detail.php?idLocality=31](http://www.panamaface.com/sp/locality/locality_detail.php?idLocality=31) .
10. ETESA. *Hidrometeorología* [En línea]. 2009. [Citado el: 2012 de mayo de 19.] <http://www.hidromet.com.pa/documentos.php?sec=1>.
11. AYALA, L. *Explorock*. [En línea] 4 de agosto de 2010. [Citado el: 20 de diciembre de 2012.] <http://explorock.wordpress.com/2010/08/04/depositos-sedimentarios/>.
12. BURKE, G. *Detección del nivel freático de la ciudad del árbol por el método de tomografía eléctrica*. Panamá: Universidad de Panamá. 2007.
13. ROMAN, J.S.S., ed. *Prospección geofísica: Sondeos eléctricos verticales*. Salamanca: Universidad de Salamanca. Salamanca. 2 de Abril de 2009. Disponible en [www.hidrologia.usal.es](http://www.hidrologia.usal.es)
14. PARRAGUIRRE, C. *Sondaje eléctrico para prospección de suelos y determinación de napas subterráneas*. Chile: Universidad de Santiago de Chile. 2002.
15. LÓPEZ HIDALGO, A.A., HENG LOKE, M., FANTON, G.O., y CARA RUBÍ, E. y otros Heng Loke, M., Fanton, G. O., & Cara Rubí, E. *Técnicas prácticas para investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (tomografía eléctrica 2D y 3D)*. Argentina: Universidad Nacional de San Juan. 2006.
16. *SomosPanama.com*. [En línea] 2005. [Citado el: 7 de enero de 2013.] [http://www.somospanama.com/quienes\\_somos/index.php](http://www.somospanama.com/quienes_somos/index.php).
17. Grupo de Actividades Recreativas, Academia de Ciencias Luventicus. Provincia de Panamá. [En línea] 2012. [Citado el: 7 de Enero de 2013.] <http://www.luventicus.org/mapas/panama/panama.html>.

18. MOLINA, URANIA CECILIA. La escurridiza estrella diez. [ed.] La Prensa. Panamá Oeste, Panamá, Panamá: s.n., 6 de Septiembre de 2010.
19. INEC [Instituto Nacional de Estadística y Censo]. *XI Censo nacional de población y VII de vivienda 2010*. Panamá: Contraloría General de la República. 2010.
20. QUEZADA, R. Punta Chame se alista para el turismo. *La Prensa*. 11 de Septiembre de 2011.
21. GÓMEZ, A. Mediarío Ambiental. Intrusión Salina. [En línea] 20 de enero de 2011. [Citado el: 23 de 09 de 2013.] <http://www.iesgrancapitan.org/blog08/?p=1436>.
22. ESPINOZA, C. *Estudio de intrusión salina en acuíferos costeros: Sector Costa Quebrada Los Choros, IV Región*. Chile: S.I.T. N° 109. 2005.
23. INEC [Instituto Nacional de Estadística y Censo]. *Precipitación pluvial registrada en las estaciones meteorológicas de la República, por mes, según provincia, comarca indígena y estación: años 2008-10*. Panamá: Contraloría General de la República. 2010.
24. CANALE, P., GÓMEZ, R. y FUNES, J. Propuesta para el desarrollo estratégico de la protección de aguas subterráneas y caracterización de acuíferos de la Ciudad de San Miguel. El Salvador: Universidad de Oriente. 2009.
25. BOLIVAR, Fernando. *Determinación del Mapa de Vulnerabilidad del Acuífero de Penonomé, mediante el empleo de método GOD con la ayuda de SIG*. Panamá. 2008.
26. SALINAS, P. *Modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca del Rio Zaratí. Penonomé- Panamá*. Universidad de la Pampa. 2009.
27. GÓMEZ, J. C. Geología, geofísica, hidrogeoquímica e isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: Acuífero costero del Municipio de Turbo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2009.
28. MIJALOV, L. *Hidrogeología*. Moscú: Mir. 1985.
29. SÁNCHEZ, F. *Medidas puntuales de la permeabilidad*. [En línea] 15 de Agosto de 2012. [Citado el: 02 de octubre de 2013.] [www.hidrologia.usal.es](http://www.hidrologia.usal.es).
30. CUSTORIO, E. y LLAMAS, M. *Hidrología subterránea*. 2ª edición. Barcelona: Ediciones Omega. 1983.
31. LOKE, M.H. *Tutorial 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. 2001.
32. SALGADO, J., CONTRERAS, E. y Vizcarra, M. *Aplicaciones de la tomografía geoelectrica 2D al estudio del subsuelo*. México: Universidad Tecnológica de Mixteca. 2002.
33. PONCE, V. *Groundwater utilization and sustainability*. [En línea] Marzo de 2006. [Citado el: 05 de octubre de 2013.] <http://groundwater.sdsu.edu/>.

34. JOHNSON, T. Water replenishment district of Southern California. [En línea] 2007. [Citado el: 07 de octubre de 2013.] <http://www.wrd.org/engineering/seawater-intrusion-los-angeles.php>.
35. PORRES, J.A., ESPINOSA, A.B. y ÁVILA, E. Localización de aguas subterráneas para abastecimiento mediante prospección geofísica de resistividades: acuíferos de interior y costeros. [En línea] 1996. [Citado el: 26 de enero de 2012.] [www.ciccp.es/](http://www.ciccp.es/).
36. SINGH, A. K. y GEWALI, L. P. A shape-similarity index for Stiff diagrams. *International Journal of Applied Environmental Sciences*. 2010. Vol. 5, No. 4, pp.541-552.