

**SEPARACIÓN DEL FLUJO BASE UTILIZANDO ISÓTOPOS ESTABLES DEL AGUA EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO DE ORO, EN LA ESTACIÓN EL CONQUISTADOR ALTO**

**CARLOS FERNANDO ARIAS CASTRO
ALIX MAGNOLIA GALLEGO CARREÑO
CARLOS EDUARDO SANA SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**SEPARACIÓN DEL FLUJO BASE UTILIZANDO ISÓTOPOS ESTABLES DEL AGUA EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO DE ORO, EN LA ESTACIÓN EL CONQUISTADOR ALTO**

**CARLOS FERNANDO ARIAS CASTRO
ALIX MAGNOLIA GALLEGO CARREÑO
CARLOS EDUARDO SANA SÁNCHEZ**

**Trabajo de Grado para optar por el Título de
Ingeniero Civil**

Director:

Sully Gómez Isidro

Ing. Civil, M.sc., PhD

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimientos a su directora de proyecto, la Doctora Sully Gómez Isidro, por su colaboración, apoyo, confianza y paciencia para la finalización exitosa de este proyecto.

Al Grupo de Predicción y Monitoreo Hidroclimático (GPH) de las UIS, quienes proporcionaron la información más reciente de precipitaciones e isótopos estables.

A las entidades: IDEAM, por suministrar a tiempo la información de datos Hidrológicos de caudales en la estación el conquistador alto.

Primeramente a Dios y a la Santísima virgen por su amor, protección en todo este proceso y compañía cuando sola me sentí y sin ganas de seguir luchando.

A mi hermosa madre Yaqueline Carreño, mi lindo padre Gundisalbo Gallego y mis hermanos; Oscar Gallego y Juliana Gallego, quienes confiaron en mí, me brindaron todo su amor, comprensión y apoyo incondicional a pesar de la distancia, me dieron su mano y bellas palabras de aliento cuando más lo necesité, han estado a mi lado en los momentos mas felices y difíciles de mi vida y quienes son mi mayor motivación.

Chaticá

le agradezco a DIOS por su misericordia y ayuda, mis padres por su apoyo, a mi esposa por estar siempre a mi lado y al ser una gran motivación, y mis familia por confiar

CARLOS ARIAS

Este libro esta dedicado a Daniel Fernando Rojas un hombre que ofrecio grandes cosas a este mundo, y que con seguridad tenia mucho mas que ofrecer, ahora todos te tenemos de ejemplo, gracias por todo.

CARLOS ED.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	20
1.1. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA.....	20
1.2. VIAS DE ACCESO	21
2. MARCO TEORICO	22
2.1. ISÓTOPOS ESTABLES DEL AGUA	22
2.1.2. Separación del flujo de agua en el río en dos componentes	23
2.1.3. Contenido isotópico de la escorrentía superficial	24
2.1.4. Contenido isotópico del flujo base	25
2.1.5. Contenido isotópico del flujo en ríos.....	25
2.1.6. Línea meteórica o Recta de Craig	25
2.2. HIDROGRAMA.....	27
2.2.1. Componentes del hidrograma	28
2.2.1.1. Escorrentía Superficial	28
2.2.1.2. Flujo Base	28
3. SEPARACIÓN DEL FLUJO BASE	29
3.1. PRINCIPIOS Y SUPOSICIONES	29
3.2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN.....	30
3.3. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	33
3.3.1. Espacialización de la precipitación	35
3.3.2. Información isotópica de la precipitación	36
3.3.3. Espacialización de los isotopos de precipitación	37
3.4. FLUJO BASE.....	38
3.4.1. Espacialización del flujo base.....	40

3.5.	ESCORRENTÍA TOTAL	42
4.	OBTENCIÓN DE LAS DESVIACIONES ISOTÓPICAS PROMEDIO ...	44
4.1.	DESVIACIÓN ISOTÓPICA PROMEDIO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	44
4.2.	OPERACIÓN DE MAPAS PARA EL CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN ISOTÓPICA DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	44
4.3.	DESVIACIÓN ISOTÓPICA PROMEDIO DE FLUJO BASE.....	48
4.4.	OBTENCIÓN DEL PROMEDIO ISOTÓPICO DE LA ESCORRENTÍA TOTAL.....	48
5.	OBTENCION DEL PORCENTAJE DE FLUJO BASE.....	49
6.	CONCLUSIONES.....	51
	BIBLIOGRAFIA	53
	ANEXOS	56

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Localización general de la Cuenca Superior del Río de Oro (CSRO). ...	20
Figura 2. Esquema de separación del hidrograma.....	23
Figura 3. Recta meteórica de Craig para datos isotópicos de precipitación se observa que todos mantienen un comportamiento lineal lo cual refiere muestras que no se encuentran alteradas por factores externos.	26
Figura 4. El valor “R2” representa el coeficiente de correlación entre la altitud y las desviaciones isotópicas, cuando el coeficiente “R2” es cercano a cero las desviaciones isotópicas no presentan una tendencia lineal, lo cual muestra que no existe correlación.	27
Figura 5. Componentes básicos del Hidrograma	28
Figura 6. Variograma gaussiano ajustado a los datos cartográficos.	31
Figura 7. Modelo digital de elevación CSRO, espacializado con celdas de 50*50 pixeles.....	32
Figura 8. Ubicación de la red, pluviométrica, isotópica, y de la estación el conquistador punto de cierre de la CSRO.	34
Figura 9. Espacialización de la precipitación en la segunda temporada del año 2004.....	35
Figura 10. Espacialización de isotopo de deuterio en la segunda temporada del 2004.....	38
Figura 11. Ubicación Puntos de muestreo de flujo base CSRO.....	41
Figura 12. Variograma gaussiano ajustado a los datos de oxígeno 18 en el flujo base.	42
Figura 13. Ubicación de la estación “EL CONQUISTADOR”	43
Figura 14. Operación de mapas con surfer11	46
Figura 15. Desviación isotópica de la escorrentía superficial para el hidrogeno...	46
Figura 16. Desviación isotópica de la escorrentía superficial para el oxígeno.	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de la red pluviométrica.	34
Tabla 2. Estaciones de la red isotópica.	37
Tabla 3. Número de datos y ubicación de los puntos de muestreo de flujo base correspondientes a manantiales.	39
Tabla 4. Resultados del cálculo de desviación isotópica de precipitación y contenido isotópico de la precipitación.	47
Tabla 5. Desviación isotópica promedio de la escorrentía superficial	48
Tabla 6. Desviación isotópica promedio del flujo base.	48
Tabla 7. Desviación isotópica de la escorrentía total.....	49

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis de datos por medio de la recta de Craig.....	56
Anexo B. Exceso de deuterio de las muestras objeto en la investigación.	64
Anexo C. Validación del variograma en Surfer	67
Anexo D. Recorte de contornos en Surfer o blanqueo	73
Anexo E. Ubicación de la red pluviométrica.....	78
Anexo F. Datos de Precipitación.....	79
Anexo G. Datos de isótopos de la escorrentía total.....	84
Anexo H. Ubicación de la red isotópica de lluvias.	93
Anexo I. Caudales diarios en la estación el Conquistador Alto.....	94
Anexo J. Ubicación de los manantiales objeto de la investigación.	100
Anexo K. Datos de isótopos del flujo base.	101
Anexo L. Variograma de lluvias	102
Anexo M. Espacialización de la precipitación.	111
Anexo N. Variograma de isotopos con sus componentes de precipitación.....	116
Anexo O. Espacialización de los isotopos de precipitación.	118
Anexo P. Grilla de espacialización de isotopos de deuterio en la segunda temporada del 2004 precipitación con el valor de pixel en cada celda.	129
Anexo Q. Espacialización de flujo base.....	130
Anexo R. Datos conquistador	132

RESUMEN

TÍTULO:

SEPARACIÓN DEL FLUJO BASE UTILIZANDO ISÓTOPOS ESTABLES DEL AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO DE ORO, EN LA ESTACIÓN EL CONQUISTADOR ALTO*

AUTOR:

Carlos Fernando Arias Castro

Alix Magnolia Gallego Carreño

Carlos Eduardo Sana Sánchez**

PALABRAS CLAVES:

Flujo base, isotopos estables, conservación de masa, hidrograma, acuíferos.

DESCRIPCIÓN:

Para realizar la estimación y separación del flujo base en la cuenca superior del río de oro, se aplicaron conceptos físicos como la ecuación de conservación de masa con trazadores llamados isotopos estables del agua, se realizó una comparación con estudios anteriores, de algoritmos numéricos, y algoritmos de no linealidad basados en la curva de recesión de series de tiempo de caudales. Se analizaron resultados de muestreos de isotopos estables registrados entre los años 2004 y 2006 tanto de aguas lluvias, ríos, y aguas subterráneas representadas por muestreos en manantiales, para establecer los diferentes componentes del hidrograma (escorrentia directa y flujo base), estos muestreos fueron obtenidos a partir de la red pluviométrica e isotópica presente en la CSRL.

Mediante el manejo y el análisis de la información registrada en las estaciones de monitoreo se establecieron mapas de espacialización de precipitación y contenido isotópico dentro de la CSRO utilizando el software SURFER 11, a partir de estos se pudo establecer un porcentaje de flujo base del 80 % de la escorrentia total del río.

Este estudio establece que esta cuenca presenta condiciones altas de almacenamiento de aguas subterráneas; debido a que presenta diferentes tipos de acuíferos interconectados entre sí, lo que la constituye en una cuenca de altas reservas para los acueductos regionales. Los resultados obtenidos de la aplicación de la ecuación de conservación de masa, y de estudios anteriores nos permiten proponer un valor significativo de flujo base de 80%.

* Trabajo de grado

**Facultad de ingenierías físico-mecánicas, Escuela de ingeniería civil,
Director: Sully Gomez Isidro

ABSTRACT

TITLE:

BASE FLOW SEPARATION USING STABLE ISOTOPES IN HIGH WATER RIVER BASIN GOLD IN HIGH SEASON THE CONQUEROR *

AUTHOR:

Carlos Fernando Arias Castro

Alix Magnolia Gallego Carreño

Carlos Eduardo Sana Sánchez **

KEY WORDS:

base flow, stable isotopes, mass conservation, hydrograph aquifers

DESCRIPTION:

To make the estimation and separation of the base flow in the upper basin of the river of gold, physical concepts were applied as the equation of conservation of mass tracer called stable isotopes of water, a comparison with previous studies, numerical algorithms, was performed and nonlinearity algorithms based on the recession curve flow time series. Sampling results of stable isotopes recorded between 2004 and 2006 both rainwater, rivers, and groundwater springs represented by samples in order to establish the different components of the hydrograph (direct runoff and baseflow), were analyzed these samples were obtained starting from rainfall and isotoica CSRL present in the network.

Through the management and analysis of information recorded in the monitoring stations spatialization of rainfall maps were established and isotopic content within the CSRO using the sotfware SURFER 11 starting these could estableecr aa base percentage flow of 80% of the total runoff of the river.

This study establishes that this basin has high storage conditions of groundwater; because it presents different types of interconnected aquifers each other, what constitutes a basin of high reserves for regional aqueducts. The results of the application of the equation of conservation of mass, and previous studies allow us to propose a significant flow base value 80%.

Graduation Project

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering,
Director: GOMEZ ISIDRO, Sully.

INTRODUCCIÓN

La estimación de la contribución subterránea y superficial al caudal de un río es fundamental para proyectos que involucren el desarrollo y manejo de recursos hídricos en una cuenca. En particular, la recarga subterránea juega un papel importante en tal dinámica, pues durante las épocas de sequías, en las que se pueden presentar problemas de suministro de agua para consumo humano, actividades agrícolas, navegación y aspectos ambientales, ésta se encarga de mantener el caudal del río como flujo base. La magnitud del flujo base representa el agua almacenada en los acuíferos en contacto con el río por esto el flujo base puede traducirse como un indicador de sostenibilidad del recurso hídrico.

La Cuenca Superior del Río de Oro (CSRO) se encuentra localizada al extremo norte del Departamento de Santander, sobre la vértice occidental de la cordillera oriental, al sur del Área Metropolitana de Bucaramanga y al oriente del municipio de Piedecuesta, tiene un área aproximada de 74.89 Km², ésta hace parte de la Cuenca Superior del Río Lebrija (CSRL); donde desempeña un papel muy importante en el abastecimiento del agua para consumo del municipio de Piedecuesta y su zona de influencia [16]. Una de las principales corrientes es el Río de Oro, que corre inicialmente al sur por la CSRO, gira en forma de *u*, cambiando su dirección al norte, aguas abajo del área urbana del municipio de Piedecuesta, el río recibe a la quebrada Grande, Sorata y el río Lato. En la zona del municipio de Girón recibe las aguas del río Frio, quebrada la Iglesia, Chimitá y las corrientes de la escarpa de la meseta de Bucaramanga; para luego unirse con el Río Surata para formar el río Lebrija [15].

Sobre la zona de la CSRO se encuentran acuíferos de pequeña a mediana extensión con productividad baja a media, algunos de ellos constituyen acuíferos colgados y se encuentran comunicados con acuíferos más profundos en los depósitos aluviales de formación Bucaramanga y en formaciones sedimentarias [13]. Estos acuíferos se encuentran en contacto con los ríos que atraviesan los depósitos.

En la zona se presenta un sistema bimodal de lluvia con dos periodos secos y dos periodos húmedos, intercalados durante el año, fuertemente influenciado por el movimiento de la zona de convergencia intertropical. El periodo seco inicia a finales de Diciembre y termina a finales de Marzo, mientras el segundo inicia a finales de Junio y finaliza a mediados de Septiembre [1].

En esta investigación, los isótopos estables o naturales del agua se han utilizado como un método de separación de flujo base del flujo total, utilizando desviaciones isotópicas promedio de Oxígeno 18 y Deuterio, con el propósito de estudiar el

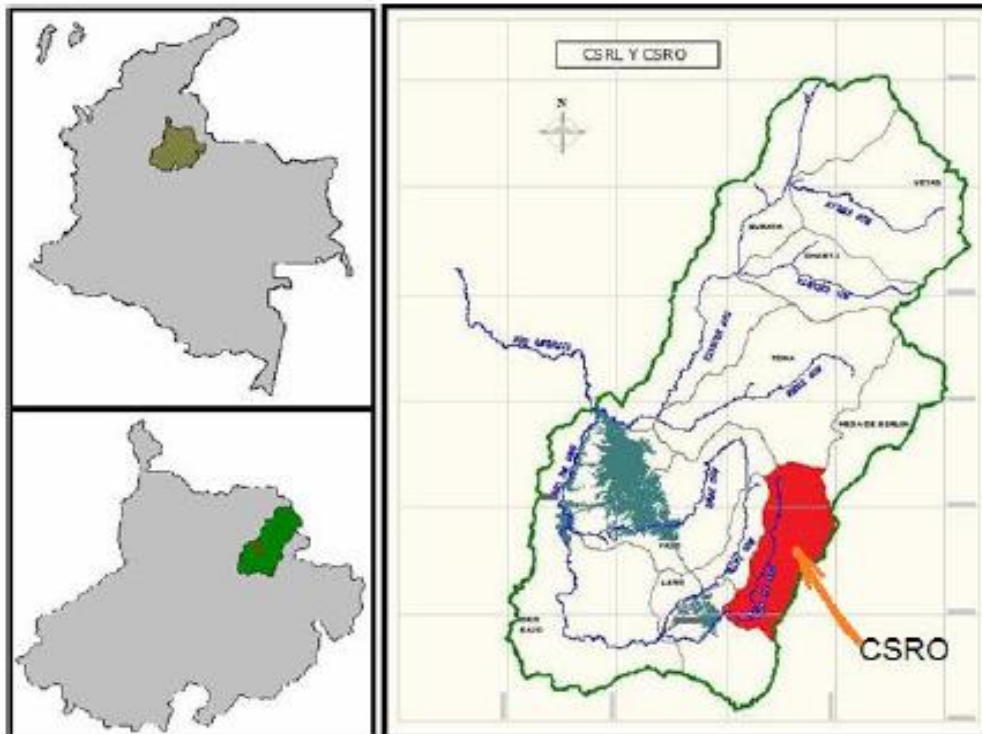
comportamiento de la precipitación en épocas de invierno y del agua subterránea en época de sequía. En la separación del flujo base se ve involucrado el fenómeno físico de la mezcla de aguas nuevas y aguas antiguas, el cual se representa mediante la ecuación de conservación de masa. Con el fin de obtener contenidos isotópicos de las diferentes componentes del hidrograma, bajo protocolos de toma de muestras se obtuvieron datos de muestreos de aguas lluvias, de aguas subterráneas y de aguas de superficiales, adecuados a las condiciones de la región. Con el fin de comprobar los resultados de los conceptos anteriores y acercarse a otras interpretaciones físicas de la cuenca, como es la recesión de los acuíferos observada en el flujo base de los ríos, se aplicaron los resultados obtenidos de estudios anteriores basados en algoritmos numéricos que involucran parámetros relacionados con el fenómeno de recesión y además, estos estudios permiten establecer la hipótesis sobre el método de estimación del flujo que mejor se ajusta a las condiciones reales presentes en la CSRO.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.1. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA

La Cuenca Superior del Río de Oro (CSRO) forma parte de la Cuenca del Río de Oro y se encuentra enmarcada hidrológicamente por la Cuenca Superior del Río Lebrija (CSRL), se encuentra localizada sobre el Macizo de Santander, conformado por rocas ígneas metamórficas, preferencialmente por el Neis de Bucaramanga, el cual se encuentra meteorizado por los efectos del sistema de la Falla de Bucaramanga – Santa Marta [5], al extremo norte del Departamento de Santander, sobre la vértice occidental de la cordillera oriental, al sur del Área Metropolitana de Bucaramanga y al oriente del municipio de Piedecuesta, entre las coordenadas Gaussianas 1'115.000 a 1'125.281 Este y 1'262.761 a 1'278.305 Norte con origen en Bogotá como se puede visualizar en la figura 1, Limita al norte con la microcuenca del Río Tona, al nororiente con la mesa de Berlin y el Río Manco, al sur occidente con la subcuenca del Río de Oro Medio y al occidente con las microcuencas de Río Frio y Lato. Tiene un área aproximada de 74.89 Km².

Figura 1. Localización general de la Cuenca Superior del Río de Oro (CSRO).



Fuente: Trabajo de grado (*Separación del Flujo Base Utilizando Isótopos Estables del Agua en la Cuenca Superior del Río Lebrija*).

Una de las principales corrientes es el Río de Oro, que corre inicialmente al sur por la CSRO, gira en forma de u, cambiando su dirección al norte aguas abajo del área urbana del municipio de Piedecuesta, el río recibe a la quebrada Grande, Sorata y el Río Lato. En la zona del municipio de Girón recibe las aguas del río frío, quebrada la iglesia, Chimita y las corrientes de la escarpa de la meseta de Bucaramanga; para luego unirse con el Río suratá para formar el Río Lebrija [6].

El relieve de la CSRL presenta un sector nororiental montañoso con paisaje de cordillera y fuertes pendientes, separado por la falla de Bucaramanga, de una zona suroccidental conformada por plataformas con topografía suave y ondulada en estado avanzado de erosión. Este relieve montañoso variado crea una gran cantidad de microclimas, posee alturas que van desde los 3500 m.s.n.m en el alto el Picacho hasta los 1100 m.s.n.m en la estación Conquistador sobre el Río de Oro, siendo la altura promedio 1730 m.s.n.m., la temperatura media es de 18°C, y la precipitación media multianual; de acuerdo a la distribución de isoyetas es de 1475 mm. Se presentan dos unidades climáticas dentro de la cuenca: Selva nublada, que corresponde a un bosque muy húmedo montano alto, entre los 1500 y 3400 metros, con temperatura relativamente fría y con alta pluviosidad, se caracteriza por tener una vegetación muy densa con tapiz de musgo y algas que disminuye considerablemente la acción de la escorrentía. Bosque premontano, corresponde a la zona baja que son más secas, con menor presencia de vegetación y mayor pendiente dando lugar a efectos de erosión por efectos de la escorrentía superficial [15].

En la zona se presenta un sistema bimodal de lluvia con dos periodos secos y dos periodos húmedos, intercalados durante el año, fuertemente influenciado por el movimiento de la zona de convergencia intertropical. El periodo seco inicia a finales de Diciembre y termina a finales de Marzo, mientras el segundo inicia a finales de Junio y finaliza a mediados de Septiembre. La precipitación es de tipo orográfica y convectivo. Las masas de nubes viajan desde el valle de Magdalena Medio hacia el oriente donde la mesa de Lebrija (1100 m.s.n.m) actúa a manera de cortina ocasionando que únicamente las masas altas de nubes saturadas logren superarlo. Estas masas de nubes al encontrarse con la cordillera oriental, producen mayor pluviosidad, mientras que la zona inferior del Río de Oro permanece seca [11].

1.2. VIAS DE ACCESO

La zona cuenta con algunas vías de acceso que recorren la cuenca desde la parte alta a la parte baja con algunas variantes que comunican los diferentes sectores de zona; todas estas vías se encuentran en afirmado y con bajo nivel de servicio, por donde transitan generalmente vehículos de doble tracción y camiones que transportan los productos de la región.

Una de sus principales vías recorre la cuenca de manera longitudinal desde la parte baja sobre la autopista de Piedecuesta, pasando por el corregimiento de

Sevilla y terminando sobre la vía a Cúcuta en el kilómetro 40; otras vías alternas comunican los sectores de Planadas y Cubin [10].

2. MARCO TEORICO

A continuación se presentan los conceptos básicos para el desarrollo de la técnica de separación del flujo base en la CSRO; basada en el uso de los isótopos estables en la ecuación de conservación de masa.

2.1. ISÓTOPOS ESTABLES DEL AGUA

Los isótopos son cada uno de los núcleos atómicos de un mismo elemento químico, quienes poseen el mismo número atómico, pero diferente número másico. En otras palabras, son átomos que tienen el mismo número de protones y de electrones, pero diferente número de neutrones. Algunos isótopos del agua como ^{18}O (oxígeno 18) y ^2H (Deuterio) tienen contenidos isotópicos que se preservan en algunos sistemas del ciclo hidrológico, como son los acuíferos o algunos cuerpos de agua, donde no ocurre su fraccionamiento (el fraccionamiento se da por cambio de fase). Las concentraciones de ^{18}O y ^2H del agua son expresadas mediante la diferencia en partes por mil de la relación D/H y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ respecto a las mismas relaciones en el agua del océano SMOW (Standard Mean Ocean Water), llamada muestra patrón. Esta diferencia se expresa como un contenido cuya notación es δ [21]:

$$\delta = \frac{C_{\text{MUESTRA}} - C_{\text{SMOW}}}{C_{\text{SMOW}}} \quad (1)$$

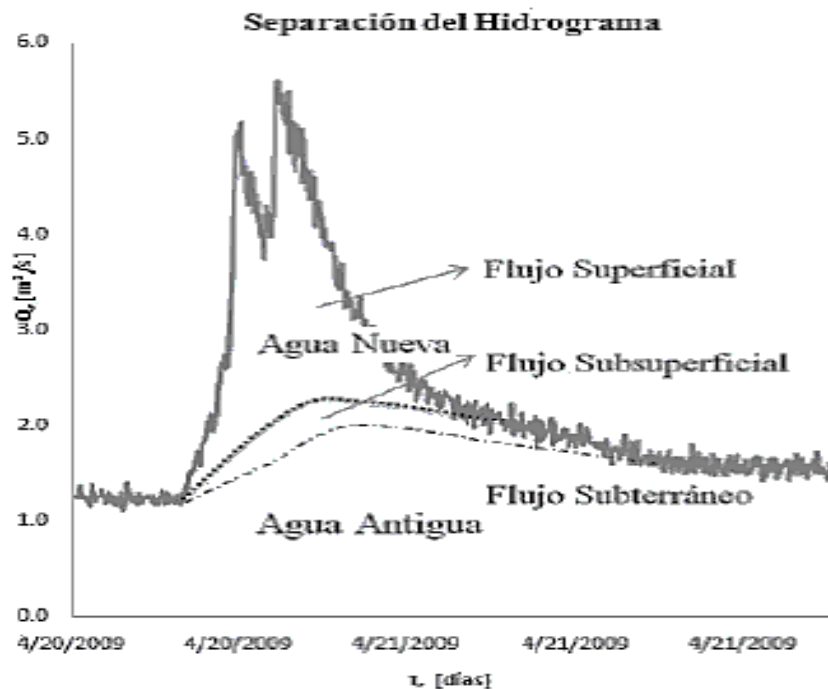
Donde δ es el contenido isotópico, C_{MUESTRA} es la concentración de isótopos de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ para el oxígeno y D/H para el deuterio de la muestra, C_{SMOW} es la concentración de isótopos SMOW de la muestra patrón. Durante las diferentes etapas del ciclo hidrológico los isótopos del agua adquieren un contenido isotópico diferente debido a los cambios de fase (evaporación y condensación), aguas evaporadas presentan mayores contenidos isotópicos y aguas de lluvia presentan menores contenidos isotópicos, por tanto se diferencian unas aguas de otras en un diagrama de ^{18}O vs ^2H , llamado Recta Meteórica o de Craig [8].

2.1.1. Composición isotópica del agua en ríos

La composición isotópica del agua en ríos refleja tanto los procesos físicos que han dado lugar a su origen, como la importancia de los diferentes componentes que conforman el flujo en el río. La composición isotópica del agua del río está relacionada con el contenido isotópico de la precipitación. Esta condición es más evidente en cuencas pequeñas a medianas que en los ríos más grandes, los

cuales transportan agua a lo largo de grandes distancias. Las contribuciones de las diferentes componentes del flujo, superficial, subsuperficial y subterránea, cada una con su relación isotópica característica, determinan la composición isotópica final del agua en los ríos. En cuencas donde la contribución del flujo base es importante, se observa diferencia entre las señales o contenidos isotópicos de los diferentes flujos; a los que se les ha denominado aguas nuevas y aguas viejas, caracterizando a cada uno de ellos diferentes tiempos de respuesta, de más rápido a más lento, respectivamente. La escorrentía y el flujo subsuperficial corresponden a aguas nuevas y el flujo subterráneo a aguas de mayor edad. La **figura 2** representa el comportamiento típico de separación de un hidrograma. El uso de otros trazadores, isotópicos y químicos, permite realizar la separación en tres componentes [7].

Figura 2. Esquema de separación del hidrograma



Fuente: Artículo "Separación de flujo base en la cuenca superior del río Lebrija".

2.1.2. Separación del flujo de agua en el río en dos componentes

El flujo de agua en el río está compuesto por el flujo base, producto de la comunicación de este con el acuífero y por el flujo superficial proveniente del agua de escorrentía producida por los eventos de lluvias que ocurren en la cuenca. La ecuación de conservación de masa tomando como volumen de control un segmento de un río, donde los caudales de entrada y salida son constantes y

suponiendo que en ese tramo no hay pérdidas, permite relacionar cada una de las componentes del flujo con su correspondiente contenido isotópico, así:

$$Q_t \delta_t = Q_s \delta_s + Q_o \delta_o \quad (2)$$

Donde Q_t, Q_o, Q_s , son el flujo total en el río, flujo base y escorrentía superficial respectivamente y $\delta_t, \delta_o, \delta_s$, corresponden a los contenidos isotópicos del flujo total en el río, flujo base y escorrentía superficial respectivamente, despejando Q_o en la ecuación (2) se obtiene:

$$Q_o = \frac{Q_t \delta_t - Q_s \delta_s}{\delta_o} \quad (3)$$

La ecuación de flujo volumétrico, bajo la consideración de densidad constante,

$Q_s = Q_t - Q_o$, se reemplaza en la ecuación (3) y se obtiene:

$$Q_o = Q_t \left(\frac{\delta_t - \delta_s}{\delta_o - \delta_s} \right) \quad (4)$$

Los contenidos isotópicos solicitados en la ecuación (4) requieren datos de contenidos isotópicos que sean promedios ponderados de los diferentes flujos que representan. Los muestreos se diseñan para obtener promedios significativos y representativos del contenido isotópico en las escalas temporales y espaciales, de cada una de las componentes. La ecuación (4) es utilizada para realizar la separación de flujo base en dos componentes, esta ecuación representa la proporción del flujo base respecto al flujo total que transcurre por el río, en función de los contenidos isotópicos de las aguas de escorrentía superficial, flujo base y flujo total.

2.1.3. Contenido isotópico de la escorrentía superficial

La escorrentía superficial se produce como respuesta a los eventos de lluvias en escalas temporales horarias a mensuales y se encuentra directamente relacionada con la precipitación. La escorrentía superficial estará representada por los contenidos isotópicos de la precipitación. Estos contenidos presentan variación estacional que puede ser identificada en muestreos continuos a lo largo del año. Las muestras de precipitación se colectan durante el periodo de 2004 y 2006 se obtiene un promedio ponderado de los contenidos isotópicos, el texto detallado en la referencia [18] sugiere la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times \delta_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (5)$$

Donde P_i es el valor de la precipitación, δ_i es el contenido isotópico de la muestra tomada durante el intervalo de tiempo de un mes, y n representa cada temporada de precipitación registrada. El valor del contenido isotópico δ se distribuye espacialmente y se obtiene un valor promedio representativo en el área de estudio.

2.1.4. Contenido isotópico del flujo base

El flujo base es aportado por el agua de los acuíferos en contacto con el río, el agua subterránea proviene de zonas alejadas o cercanas al río, por lo tanto su señal isotópica expresa fenómenos agregados de aguas que circulan en diversos sistemas hidrogeológicos, su respuesta es más lenta y su contenido isotópico presenta menor variación temporal. Las concentraciones isotópicas del flujo base se obtienen tomando muestras del agua del río en épocas de estiaje y en pozos de aguas subterráneas, localizados en acuíferos en contacto con el río. Se necesitan suficientes puntos para obtener un valor promedio espacial representativo del contenido isotópico del flujo base; éste representa la composición isotópica del agua más antigua en la cuenca.

2.1.5. Contenido isotópico del flujo en ríos

La concentración isotópica del flujo en el río puede cambiar significativamente durante la ocurrencia de eventos (niveles altos y niveles bajos), por lo tanto se debe realizar muestreos en forma continua, que tomen estos eventos durante algunos años y así obtener un promedio representativo del contenido isotópico del flujo en el río. El contenido isotópico promedio del flujo total en el río, se obtiene mediante la expresión propuesta por lo citado en la referencia [5].

$$\delta_T = \frac{\sum \delta_i \cdot Q_i}{\sum Q_i} \quad (6)$$

Donde δ_T representa el contenido isotópico promedio del flujo total en el río, δ_i representa el contenido isotópico de la muestra correspondiente al tiempo en que se presenta el caudal seleccionado y Q_i el caudal correspondiente al periodo de tiempo escogido (diario o semanal). Para poder operar los valores anteriores entre sí, es necesario tener simultáneamente datos de caudales y de contenidos isotópicos.

2.1.6. Línea meteórica o Recta de Craig

Harmon Craig, encontró una correlación lineal obtenida entre la desviación isotópica de ^{18}O vs la desviación isotópica del ^2H , desviación que se define con la siguiente expresión:

$$\delta^2\text{H} = a\delta^{18}\text{O} + b \quad (7)$$

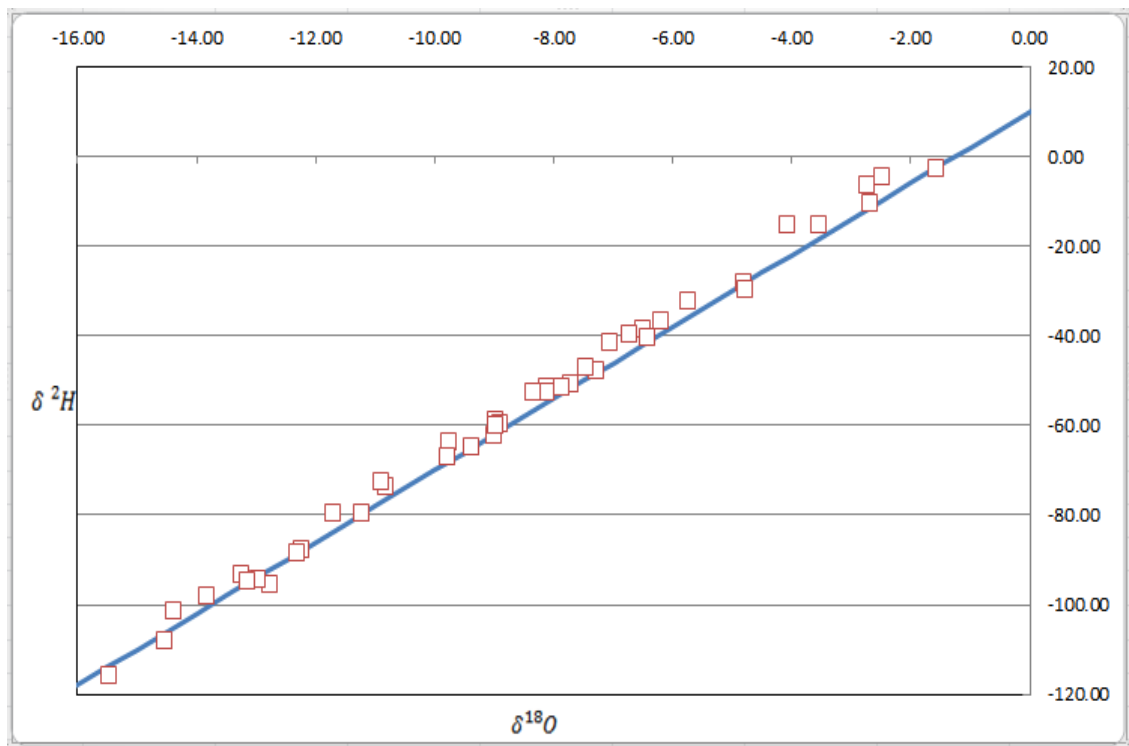
La ecuación (7) tiene un valor de pendiente “a” igual a 8, e intercepta al eje $\delta^2\text{H}$ con un valor “b” igual a 10 conocido como exceso de deuterio. Los valores “a” y “b” pueden variar de acuerdo a cada región y a la procedencia del vapor atmosférico, pero siempre conservando la misma tendencia lineal de la ecuación (7) con la cual se representa la Recta de Craig [3].

Para verificar la confiabilidad de los datos isotópicos, tanto de precipitación, escorrentía total y flujo base, se utilizó la recta de Craig como base para observar

si se presentaban muestras que no mantuvieran el comportamiento lineal esperado, como se observa en la **figura 3**.

Se realizó el cálculo de exceso de deuterio en cada uno de los datos isotópicos anteriormente mencionados teniendo como referencia la ecuación 7, hallando el valor b que lo identifica.

Figura 3: Recta meteórica de Craig para datos isotópicos de precipitación se observa que todos mantienen un comportamiento lineal lo cual refiere muestras que no se encuentran alteradas por factores externos.



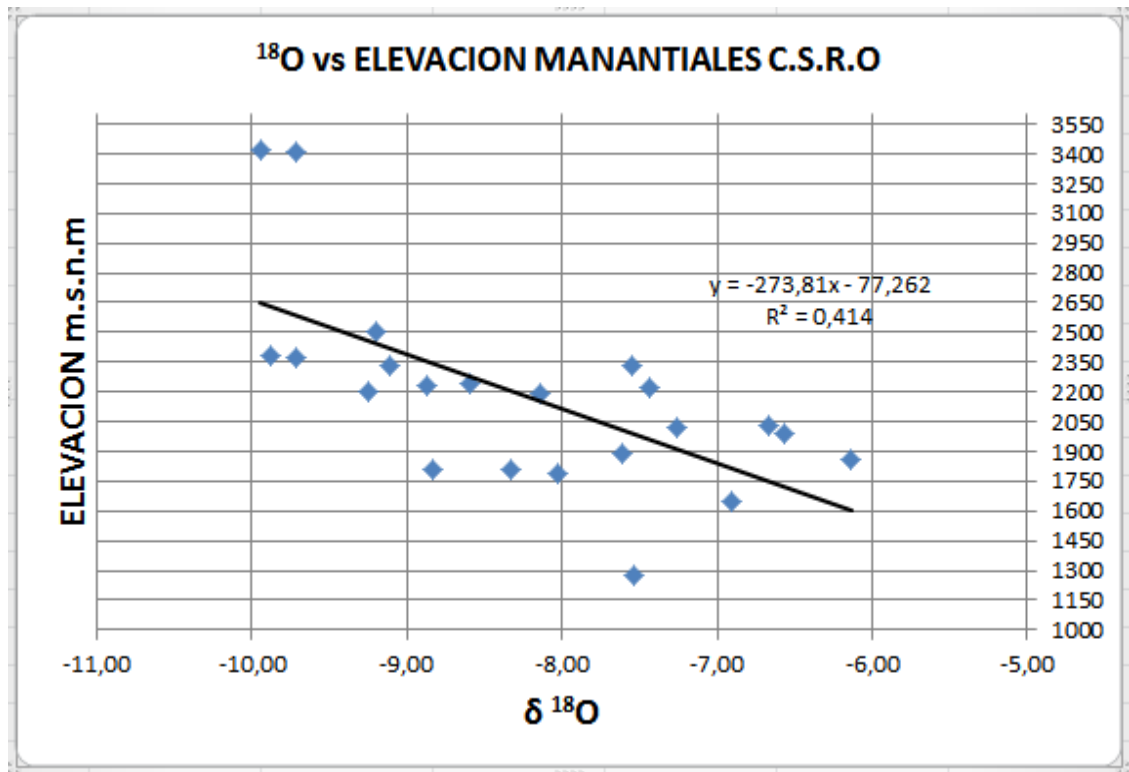
Fuente: Autor

Con los datos mensuales promedio de la desviación isotópica de cada una de las estaciones, se obtuvo la relación entre las desviaciones isotópicas de ^{18}O y 2H y la elevación a la cual fueron tomadas las muestras de lluvia en cada una de las épocas correspondientes al ciclo anual, con el fin de observar la variación del contenido isotópico de la lluvia respecto a la altura y definir las líneas a utilizar en estudios posteriores de identificación de zonas de recarga.

En el **anexo 1** se encuentran los graficos correspondientes a la verificacion de los datos objeto de esta investigacion, utilizando la recta de craig, así como tambien el analisis de la relacion entre la desviacion isotopica y la elevacion.

De igual forma en el **anexo 2** se encuentran los valores hallados de exceso de deuterio de cada una de las muestras isotopicas referidas en esta investigacion.

Figura 4: El valor “R2” representa el coeficiente de correlación entre la altitud y las desviaciones isotópicas, cuando el coeficiente “R2” es cercano a cero las desviaciones isotópicas no presentan una tendencia lineal, lo cual muestra que no existe correlación.



Fuente: Autor

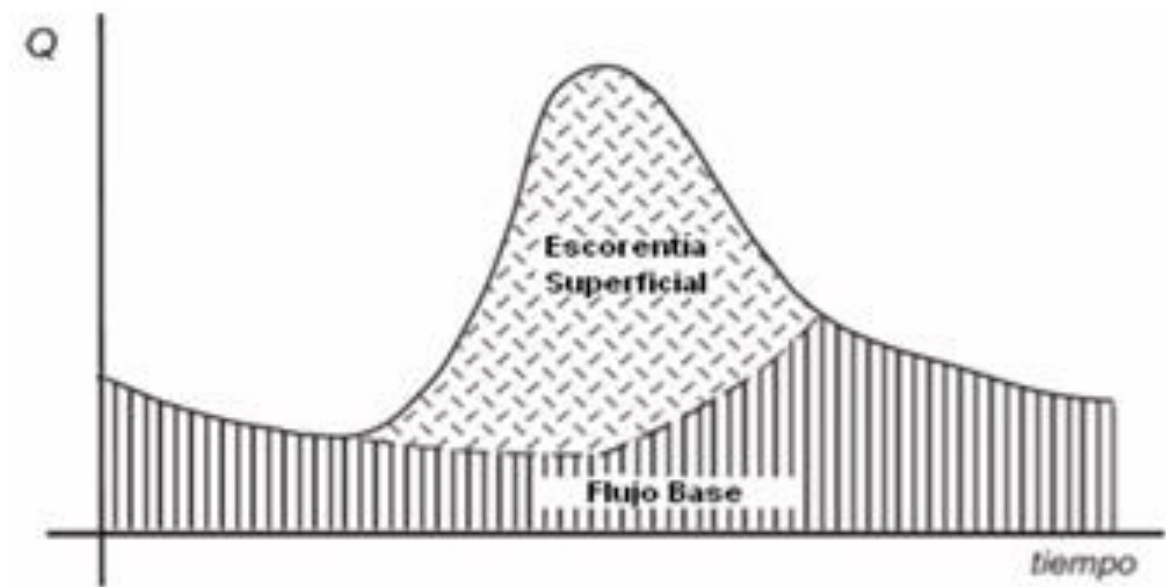
2.2. HIDROGRAMA

El hidrograma es una importante gráfica que representa el comportamiento del río a lo largo del tiempo y sirve para estudiar las componentes que aportan agua al afluente tales como la componente superficial y la componente subterránea, además esta gráfica relaciona la precipitación con los caudales, y si se tiene una

serie histórica de datos representativos de crecientes, se puede deducir inundaciones máximas y caudales mínimo, información útil para acueductos y entidades que estudien las variables hidroclimáticas; la forma que tome la gráfica depende de ciertas variables físicas características de cada cuenca como su forma, representado en el tiempo de concentración, su topografía, tipos y formas de cultivos así como la variabilidad espacial y temporal de la lluvia entre otros.

2.2.1. Componentes del hidrograma

Figura 5: Componentes básicos del Hidrograma



Fuente: Buscador Google (Imágenes)

2.2.1.1. Escorrentía Superficial

Se denomina escorrentía superficial al agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial es función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca.

2.2.1.2. Flujo Base

Se sabe que una parte del agua escurre superficialmente, pero hay otra parte que se infiltra hasta los niveles inferiores al freático, este proceso se denomina escurrimiento subterráneo. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más

lenta llega hasta la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar), y en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el flujo base [2].

3. SEPARACIÓN DEL FLUJO BASE

Para realizar la separación de flujo base es necesario tener datos isotópicos puntuales de las diferentes componentes representadas en el hidrograma, como lo es la desviación isotópica de la escorrentía superficial, la escorrentía total y del flujo base.

La escorrentía superficial y el flujo base están asociados a fenómenos que se distribuyen en el espacio (representados en las lluvias y la formación de acuíferos respectivamente), debido a este comportamiento anisotrópico debemos realizar el estudio dentro de una zona específica, en este caso la CSRO, para esto contamos con los datos registrados en las estaciones tanto pluviométricas como isotópicas y la estación Conquistador Alto.

Posteriormente, se espacializa la información analizada: precipitación, isótopos de la lluvia y agua subterránea, por medio del método Kriging de interpolación del software *SURFER 11*.

La CSRO se encuentra bajo constante monitoreo de estaciones meteorológicas, las cuales están a cargo de las diferentes autoridades ambientales; el grupo GPH de las UIS nos proporcionó la información más reciente de muestreos de isótopos estables, y los mapas cartográficos digital utilizados en la investigación.

Para el análisis de cada uno de los componentes del hidrograma fue necesario en primer lugar el desarrollo de un modelo digital de elevación que nos permitiera la digitalización de la zona de estudio y así poder utilizar el programa *SURFER 11* y de esta manera establecer los resultados finales de nuestra investigación.

3.1. PRINCIPIOS Y SUPOSICIONES

La primera suposición que se tiene en cuenta para el desarrollo de la presente investigación, es que la escorrentía total se divide en dos componentes, quienes son: “Agua nueva y Agua vieja”, donde el agua nueva está identificada como el agua que proviene de la precipitación (escorrentía superficial) y el agua vieja está compuesta por el agua subterránea (flujo base).

La segunda suposición es que el principio de la separación del hidrograma utilizando isótopos estables se basa en la diferencia de firmas isotópicas

(composición isotópica) de los componentes del hidrograma. Si no hay ninguna diferencia entre las firmas isotópicas de los componentes, la separación por medio de isótopos estables no se podrá realizar [22].

3.2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), es una estructura discreta de datos que representan de manera digital una variable continua que se distribuye en el espacio sobre una superficie de dos dimensiones [9], las que comúnmente se representan con las letras X, Y, y la variable continua se suele representar con la letra Z; ésta generalmente corresponde a la altitud de la superficie del terreno.

Para el desarrollo del modelo digital de la cuenca superior del río de oro (CSRO), contamos con la cartografía en escala 1:25000 en formato *.dwg* requerida de la zona de estudio, principalmente la zona que comprende la CSRL, a partir de esta trazamos la divisoria de aguas que delimita la CSRO. Este archivo *dwg* contenía la información de elevación representada en las curvas de nivel cada 25 metros dentro de la zona de interés.

Debido a que el programa *SURFER 11* no procesa la información en formato *.dwg*, y sí reconoce formatos como *.txt*, *.csv*, *.xlsx*, siendo estos los más conocidos, se tuvo que procesar la información antes de utilizar el software. Teniendo como base la cartografía proporcionada en escala 1:25000, la cual después de un proceso de depuración solo contenía la divisoria de aguas que delimitaba la cuenca y las curvas de nivel cada 25 metros, creamos un archivo *.dwg* solo con dicha información; este archivo fue convertido a formato *.dxf*, el cual permite ser utilizado por el programa *DXF2xyz* [14]; el cual extrapola la información de las coordenadas *x* y *y* de cada uno de los puntos que contienen las polilíneas que conforman tanto la divisoria de aguas, como las curvas de nivel, además asigna el correspondiente nivel de coordenada *Z* de cada uno de los puntos mencionados.

Al finalizar el proceso anteriormente mencionado se obtuvo un archivo en formato *.txt* el cual contenía un total de 18.698 puntos, con su respectiva coordenada este (*x*), norte (*y*), y elevación (*z*). Este archivo fue transformado a formato *.xlsx* para facilitar su manejo en el software *SURFER 11*; con la herramienta geoestadística grid-variogram de *SURFER 11*, ingresamos esta información, para obtener un variograma que representa cada uno de los puntos base del MDE. Con esta herramienta geoestadística se generaron los puntos faltantes dentro del MDE, mediante una interpolación realizada por el método de kriging.

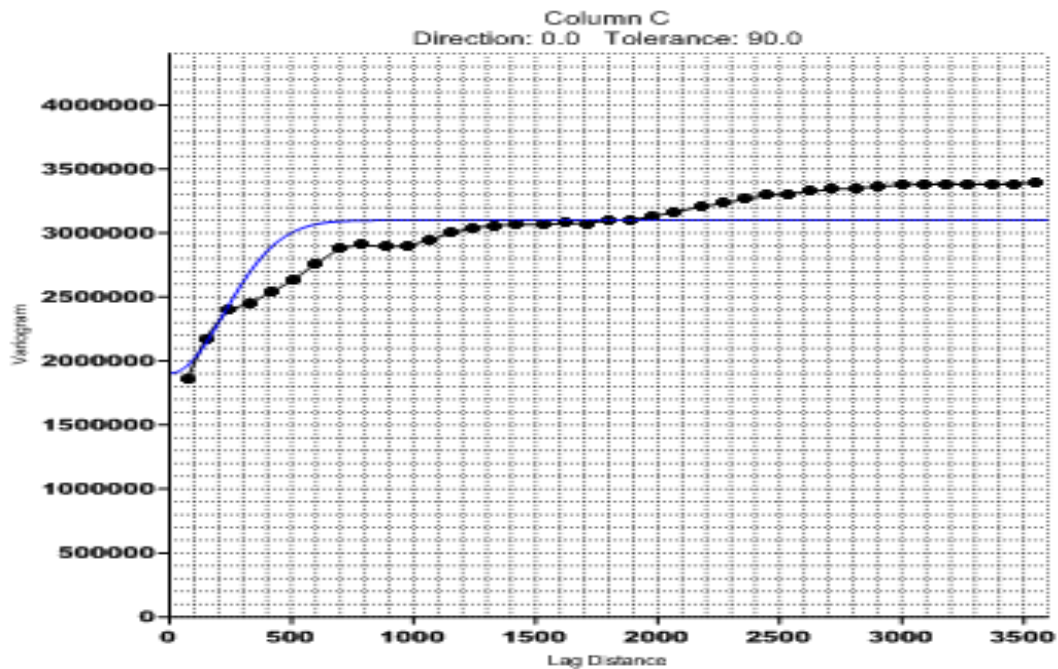
El método kriging es un proceso de interpolación de datos que utiliza un modelo de variograma para el cálculo de datos faltantes. Este método se basa en la premisa de que la variación espacial sigue un mismo patrón y la fórmula general que lo representa es:

$$\Sigma(S_o) = \Sigma_{i=1}^n \lambda_i * Z(S_i) \quad (8)$$

En la ecuación (8), $Z(S_i)$ es el valor medio de la localización i de cada punto con coordenadas norte, este y de elevación obtenidos de la cartografía, λ_i corresponde a la ponderación desconocida para el valor medio de la localización i calculada como la distancia media entre dos puntos conocidos en la cartografía, S_0 es la predicción para la localización de los puntos que SURFER 11 establece como los puntos faltantes dentro de la MDE y n es el número de valores medidos correspondiente a los 18698 valores de la cartografía.

De esta forma y teniendo como referencia que el método kriging es el que mejor se ajusta a la realidad, procedimos a espacializar los datos validando un variograma gaussiano, el proceso utilizado en la validación de los variogramas se presenta en el **anexo 3**.

Figura 6: Variograma gaussiano ajustado a los datos cartográficos.



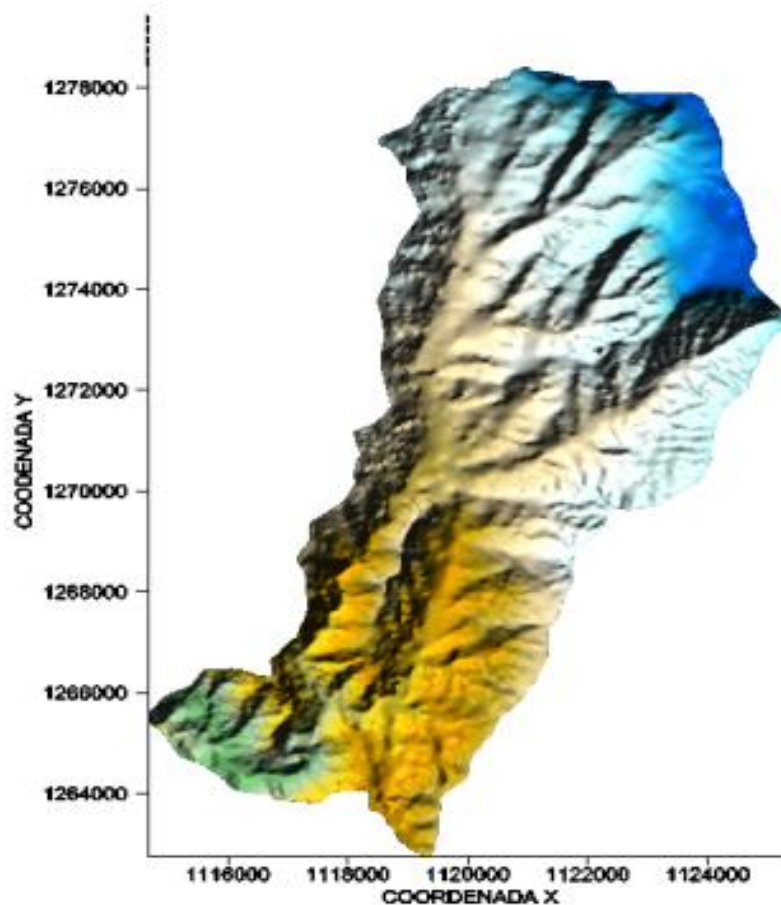
Fuente: Autor

Después de la validación del variograma, y de realizar la interpolación de los puntos no existentes por el método kriging, se pudo establecer los límites en las coordenadas x (este) y y (norte), además del espaciamento y el número de nodos a utilizar dentro de los modelos en la espacialización de los datos isotópicos. Se

obtuvo un modelo digital de elevación con un error estimado de 0.029 m, el cual presentó los siguientes límites:

$este_{min}: 1114664.15 \text{ m},$ $este_{max}: 1125411.247 \text{ m},$
 $norte_{min}: 1262766.095 \text{ m},$ $norte_{max}: 1278419.523 \text{ m}.$

Figura 7: Modelo digital de elevación CSRO, espacializado con celdas de 50*50 píxeles.



Fuente: Autor

Para delimitar la cuenca con la divisoria de aguas previamente establecida, es necesario realizar un blanqueo de las zonas en las cuales el programa generó datos con coordenadas este, norte y de elevación.

Este proceso se inicia creando un archivo en formato *.bln* el cual representa el croquis de la CSRO delimitada por la divisoria de aguas. Para la creación de este archivo es necesario convertir el formato *dwg* a formato *.shape* en el programa *ArcGIS*, teniendo como base la cartografía de la cuenca. A partir de este archivo se procede a generar el archivo en extensión *.bln* en el programa SURFER 11, el proceso utilizado se encuentra registrado en el **anexo 4**; el archivo generado se sobrepone con el archivo general del MDE y así se obtiene una superficie en la cual solo se representa la CSRO delimitada por la divisoria de aguas como se refleja en la **figura 7**.

El modelo digital de elevación calculado tiene un área de 74.86 km², presenta una altura máxima de 3500 m.s.n.m en la parte norte de la cuenca, verificados por la elevación que presenta la estación el picacho la cual es la más próxima a esta zona, la altura mínima en la cuenca es de 1100 m.s.n.m en la parte sur de la misma, esta altura mínima coincide con la elevación del punto de cierre de la cuenca, es decir la estación el conquistador la cual presenta una elevación de 1101 m.s.n.m.

3.3. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

En el estudio realizado por [4] se tomaron datos de precipitación correspondientes a un periodo comprendido entre los años 2004 - 2007, esta información se conservó para todas las estaciones de la red pluviométrica que se demarcaron como estaciones de inferencia dentro del área de la cuenca y sus alrededores. La ubicación de estas estaciones se encuentra consignada en el **anexo 5**.

En nuestro país se presentan dos épocas de lluvia y dos épocas de estiaje en el año, a esto se le llama bimodalidad anual o comportamiento estacional [19]. Las épocas en las que se presenta el ciclo anual en la CSRO son Las siguientes:

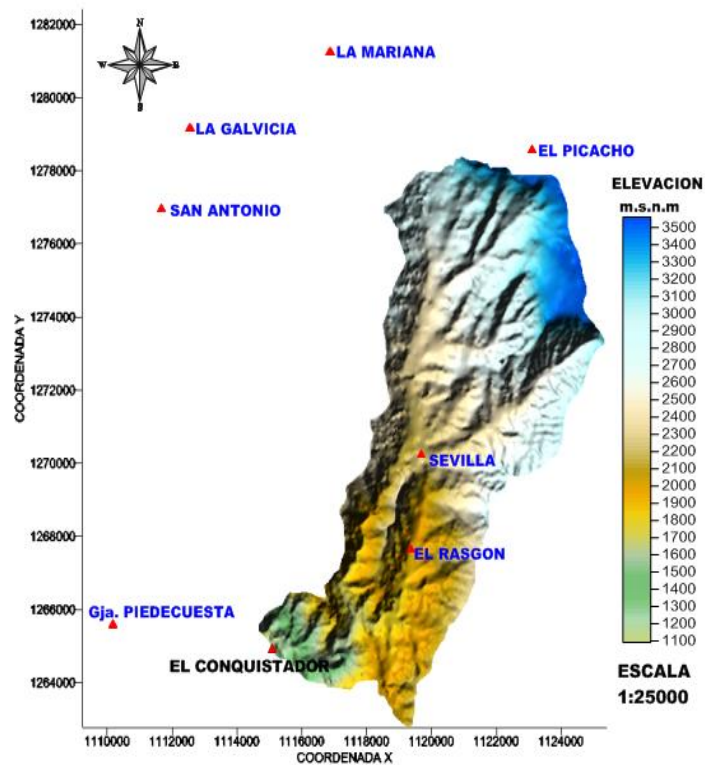
- **Época seca 1:** Compreendida por los meses de diciembre, enero y febrero.
- **Época húmeda 1:** Compreendida por los meses marzo, abril y mayo.
- **Época seca 2:** Compreendida por los meses junio, julio y agosto.
- **Época húmeda 2:** Compreendida por los meses septiembre, octubre y Noviembre.

Los periodos de lluvia corresponden a las épocas húmedas, éstas épocas fueron las escogidas para el desarrollo de este proyecto, cabe aclarar que se toma la información de las épocas húmedas de cada año, además se decide disminuir el periodo de estudio a los años comprendidos entre 2004 – 2006, ya que en el año 2007 no hay registro de datos isotópicos; en el **anexo 6** se presentan los datos que se tuvieron en cuenta para el estudio.

Tabla 1. Estaciones de la red pluviométrica.

ESTACION	ESTE	NORTE
PIEDECUESTA	1111958.00	1264897.00
SANANTONIO	1111733.00	1276956.00
LAGALVICIA	1113124.00	1279371.00
LAMARIANA	1116900.00	1281200.00
ELPICACHO	1123563.00	1277828.00
SEVILLA	1119263.00	1266801.00
RASGON	1119914.00	1270294.00

Figura 8. Ubicación de la red, pluviométrica, isotópica, y de la estación el conquistador punto de cierre de la CSRO.



Fuente: Autor

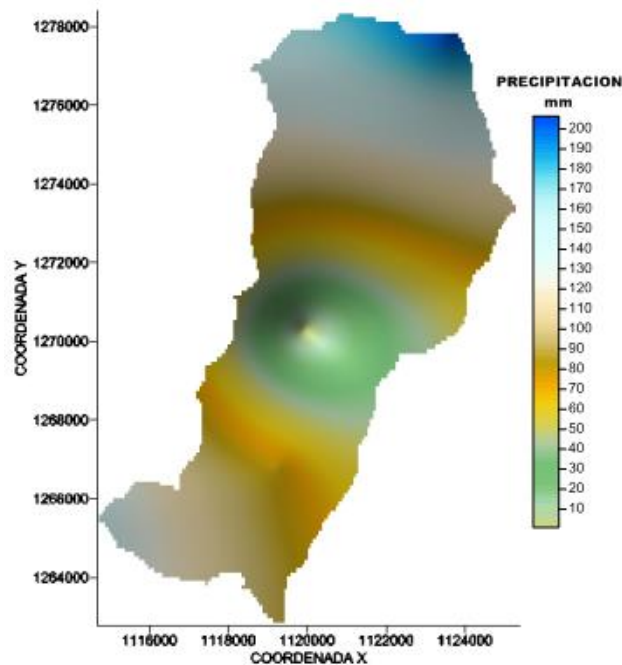
3.3.1. Espacialización de la precipitación

Como se mencionó en el numeral 3.2, los datos de la precipitación corresponden al muestreo realizado por las distintas estaciones que proporcionaron información mensual, dentro de un periodo comprendido entre el año 2004 al 2006 estos datos se encuentran consignados en el **anexo 6**.

Para realizar la espacialización se utilizó la información de precipitación de cada una de las temporadas tanto húmedas como secas registradas en las estaciones de monitoreo, con esta se creó una base de datos en formato *.xls* para ingresarla al software *SURFER 11*. Una vez se ingresó esta información, se procedió a crear un variograma gaussiano que representara los datos registrados, este variograma su uso para realizar la interpolación de datos faltantes por el método kriging.

El variograma fue validado para que al ser cargado en el software *SURFER 11*, este lo implementara junto con el método kriging. De esta forma cada uno de los puntos calculados dentro de la espacialización presenta un bajo porcentaje de error; se procedió a crear un archivo grid-data en *SURFER 11*, el cual es una representación de la CSRO y los niveles de precipitación registrados en cada periodo, esta grilla se limita por las coordenadas este (x) y norte (y) establecidas en el MDE, además se creó con el número de nodos y espaciamientos establecido en el mismo para permitir su posterior operación con los demás modelos de espacialización.

Figura 9. Espacialización de la precipitación en la segunda temporada del año 2004.



Fuente: Autor

Los modelos de espacialización de lluvias de las demás temporadas registradas, y sus variogramas correspondientes objeto de esta investigación se encuentran registrados en el **anexo 12** y **anexo 13**.

3.3.2. Información isotópica de la precipitación

Como se había mencionado en el numeral anterior el periodo de estudio se redujo por falta de información isotópica en el 2007, por lo tanto para objeto de la investigación el periodo de estudio en cuanto a información isotópica corresponde a los años 2004, 2005 y 2006. La red isotópica es menos densa que la pluviométrica.

Dentro de la CSRL en la cual se encuentra ubicada la CSRO se cuenta con 8 estaciones que recolectan la información pertinente, de estas 8 se decidió recopilar la información de 5 de ellas debido a que presentan una mejor representación de los valores isotópicos dentro o en las regiones cercanas a la CSRO.

Tabla 2. Estaciones de la red isotópica.

ESTACION	ESTE	NORTE
PIEDECUESTA	1111958	1264897
SAN ANTONIO	1111748.439	1276941.177
LA GALVICIA	1112786.282	1279524.359
LA MARIANA	1118279.979	1279536.798
EL PICACHO	1122764.334	1278133.996

En el análisis de los datos de las épocas húmedas de cada año, se observó una alteración en el comportamiento de los datos de la época húmeda 2 del año 2005- en esta época solo se tienen datos de uno de los tres meses que la comprenden por ende se puede decir que debido a que este mes es cercano a una época seca, la evaporación hace que la concentración de isótopos aumente enriqueciendo las muestras. Los datos mencionados respecto a esta variable se encuentran registrados en el **anexo 7**.

La ubicación de la red isotópica se encuentra consignada en el **anexo 8**.

3.3.3. Espacialización de los isótopos de precipitación

Como se mencionó en el numeral 3.3, se toma como periodo de estudio el comprendido por el año 2004 hasta el año 2007. Se realizó la espacialización correspondiente a los isótopos de Deuterio y oxígeno 18 para cada una de las siguientes temporadas:

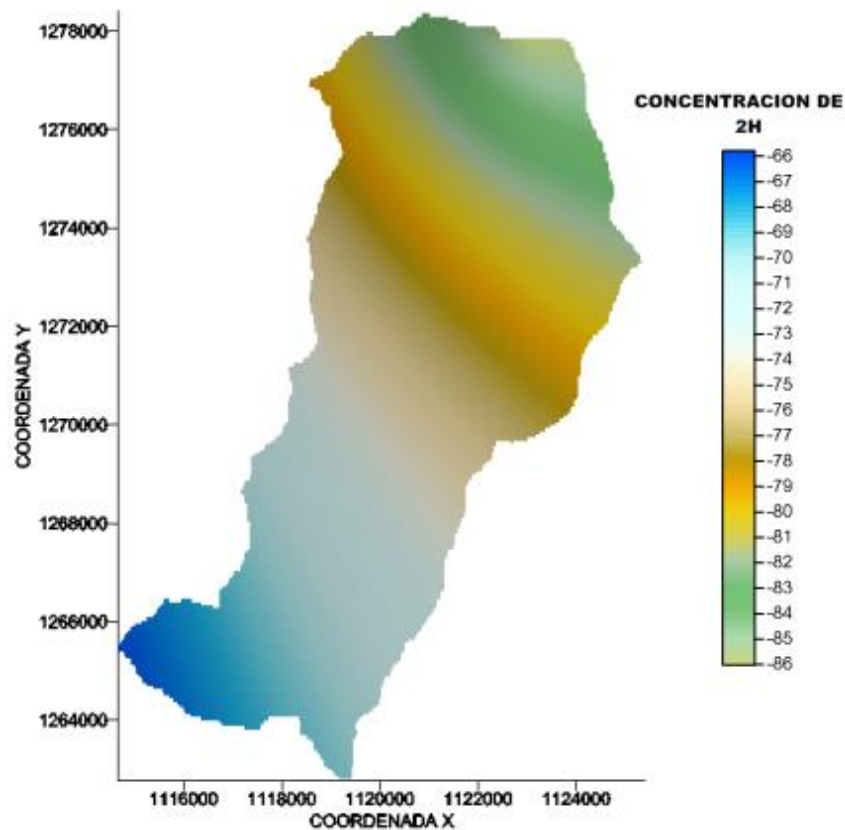
- Temporada húmeda 2 del 2004: comprendida por los meses de septiembre, octubre y noviembre.
- Temporada húmeda 1 del 2005: comprendida por los meses de marzo, abril y mayo.
- Temporada húmeda 2 del 2005: comprendida por los meses de septiembre, octubre y noviembre.
- Temporada húmeda 1 del 2006: comprendida por los meses de marzo, abril y mayo.
- Temporada húmeda 2 del 2006: comprendida por los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Para esta espacialización se llevó a cabo el mismo procedimiento realizado con la precipitación; se utilizaron los datos isotópicos suministrados de cada una de las

temporadas de precipitación para ingresarlos al programa *SURFER 11*, con esta información se generó y validó un variograma para ser cargado con el método kriging, de esta forma se generó un modelo de espacialización isotópica de cada temporada de precipitación.

Los variogramas validados, así como la base de datos de su validación y los mapas de espacialización de estos se encuentran registrados en el **anexo 14** y **anexo 15**.

Figura 10: Espacialización de isotopo de deuterio en la segunda temporada del 2004.



Fuente: Autor

3.4. FLUJO BASE

El flujo base se encuentra directamente relacionado con el agua subterránea; el área de acuíferos está ubicada hacia la zona aluvial de la CSRL en la cual se encuentra ubicada la CSRO, lo cual se puede observar en la investigación

realizada por [20], donde se expone la hipótesis de líneas de flujo subterráneo basados en el análisis de diaclasamientos de las rocas en esta zona.

La información que se tuvo en cuenta para la investigación proviene de una recopilación de datos de campo recopilados en trabajos de grado anteriores, en la tabla 3, se observan los puntos de muestreo y su respectiva coordenada.

Tabla 3. Número de datos y ubicación de los puntos de muestreo de flujo base correspondientes a manantiales.

CODIGO	NOMBRE	ESTE	NORTE	ALTURA
1	BUCA 44-Dia 3 FID 8	1267122.00	1119342.00	1856
2	Km 15 Via ICP-La Vega	1117640.33	1269231.93	2194
3	Km 16 Via ICP-La Vega	1118185.69	1269447.41	2241
4	Km 18 Via ICP-La Vega izquierda	1118534.58	1270743.91	2333
5	BUCA 43-Dia 3 FID 4	1271237.00	1119668.00	2199
6	BUCA 42-Dia 3 FID 3	1273722.00	1119753.00	2385
7	Picacho-La Mosita	1123740.84	1275400.45	3406
8	Picacho-Uval	1123862.78	1275542.96	3418
9	BUCA 36-Dia 1 FID 4	1279694.00	1110164.00	1650
10	BUCA 32-Dia 4 FID 4	1279755.00	1112860.00	1789
11	BUCA 34-Km 20	1113526.00	1280540.00	1893
12	Rio Frio - Km 20	1114784.49	1280614.78	1804
13	BUCA 35El Carajo	1282132.00	1115350.00	2220
14	BUCA 37-Dia 1 FID 7	1281060.00	1116370.00	1985
15	BUCA 38-Dia 1 FID 9	1281470.00	1116895.00	2026
16	BUCA 39-Dia 2 FID 0	1280782.00	1117716.00	2228
17	BUCA 40-Dia 2 FID 2	1279699.00	1118506.00	2505
18	Manantial Rio Frio	1114793.54	1285271.26	1806
19	Tona Carrizal	1116105.86	1285316.45	1274
20	Conquistador	111497.76	1265379.87	1101

El **anexo 10** presenta la ubicación de los manantiales en los cuales se tomaron las muestras utilizadas como flujo base.

Para el presente estudio fue necesario investigar los conceptos y teorías que relacionan los manantiales con las aguas subterráneas, por lo cual se dice que el agua subterránea fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o nacimientos de agua como se les denomina vulgarmente.

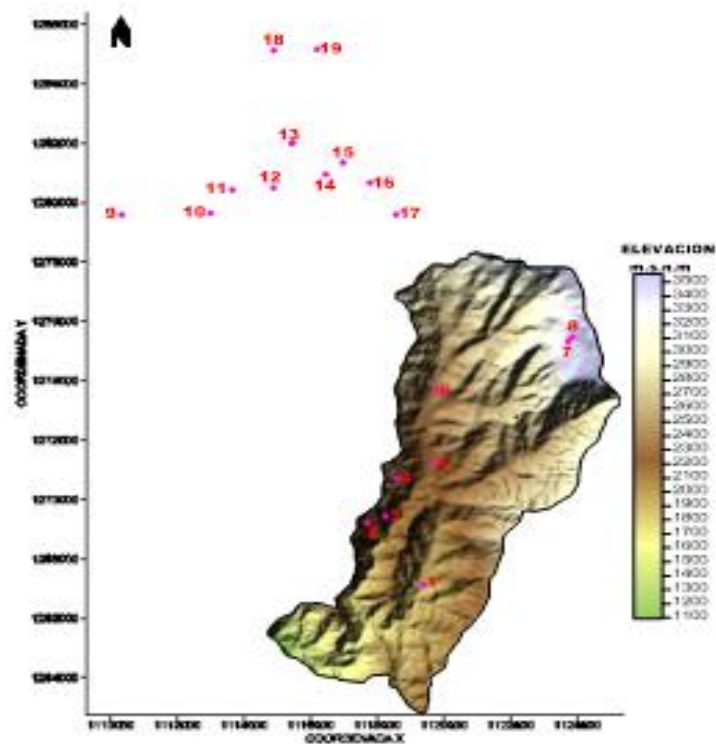
Los manantiales presentes y tomados como aguas subterráneas, para nuestro caso son aquellos denominados “*manantiales perennes*”; quienes se destacan como flujos continuos de acuerdo con la duración de salida de sus aguas. Es necesario resaltar que para realizar la toma de muestras de aguas subterráneas se utilizó los manantiales que se ubican dentro y cerca de la cuenca, debido a que no se tienen datos de pozos en el área estudiada.

La recopilación de los datos de los puntos de muestreo de los manantiales utilizados se encuentra consignada en el **anexo 11**.

3.4.1. Espacialización del flujo base

Con los datos correspondientes a las desviaciones isotópicas de cada punto de muestreo de agua subterránea representado en un manantial en la zona de influencia de la CSRO y sus respectivas coordenadas (especificadas en la **tabla 3** y representadas en la **figura 16**).

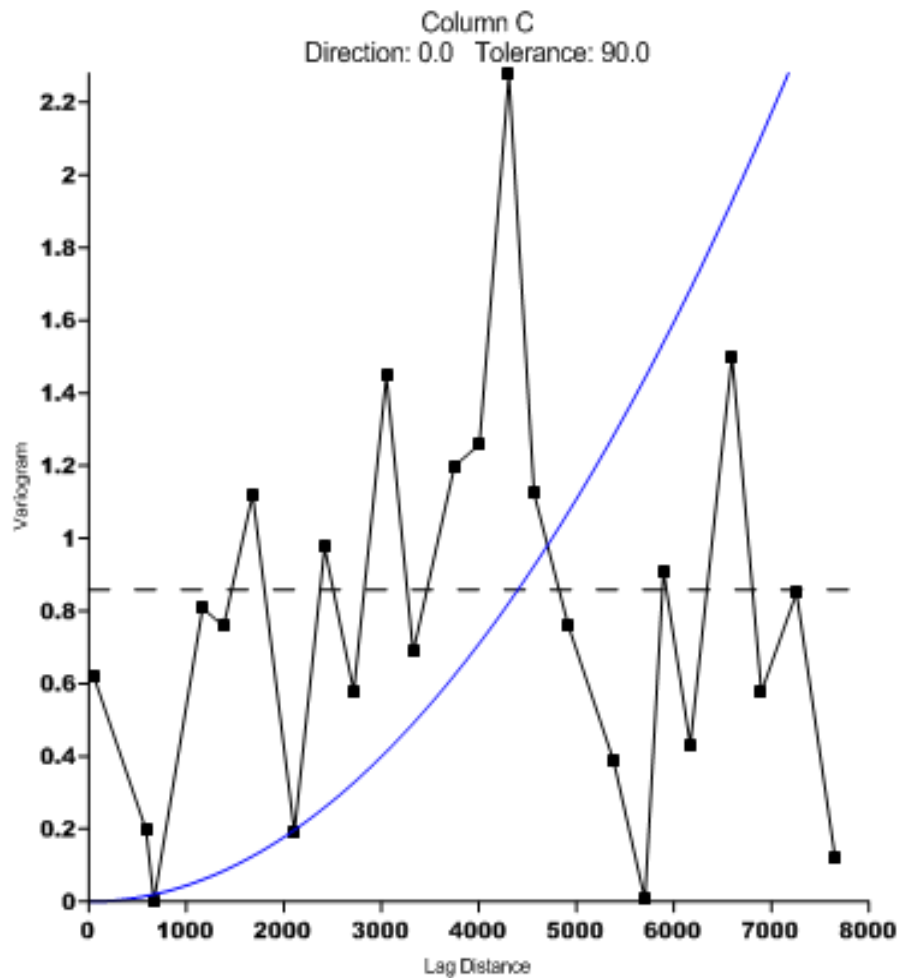
Figura 11: Ubicación Puntos de muestreo de flujo base CSRO.



Fuente: Autor

De la misma manera que se procedió con los de la precipitación, con el uso del programa *SURFER 11*, generando un variograma de cada uno de los isotopos e interpolando por el método *kriging*.

Figura 12: Variograma gaussiano ajustado a los datos de oxígeno 18 en el flujo base.



Fuente: Autor

El método empleado para espacializar los isotopos de flujo base es el mismo realizado anteriormente, los mapas creados se encuentran en el **anexo 17**.

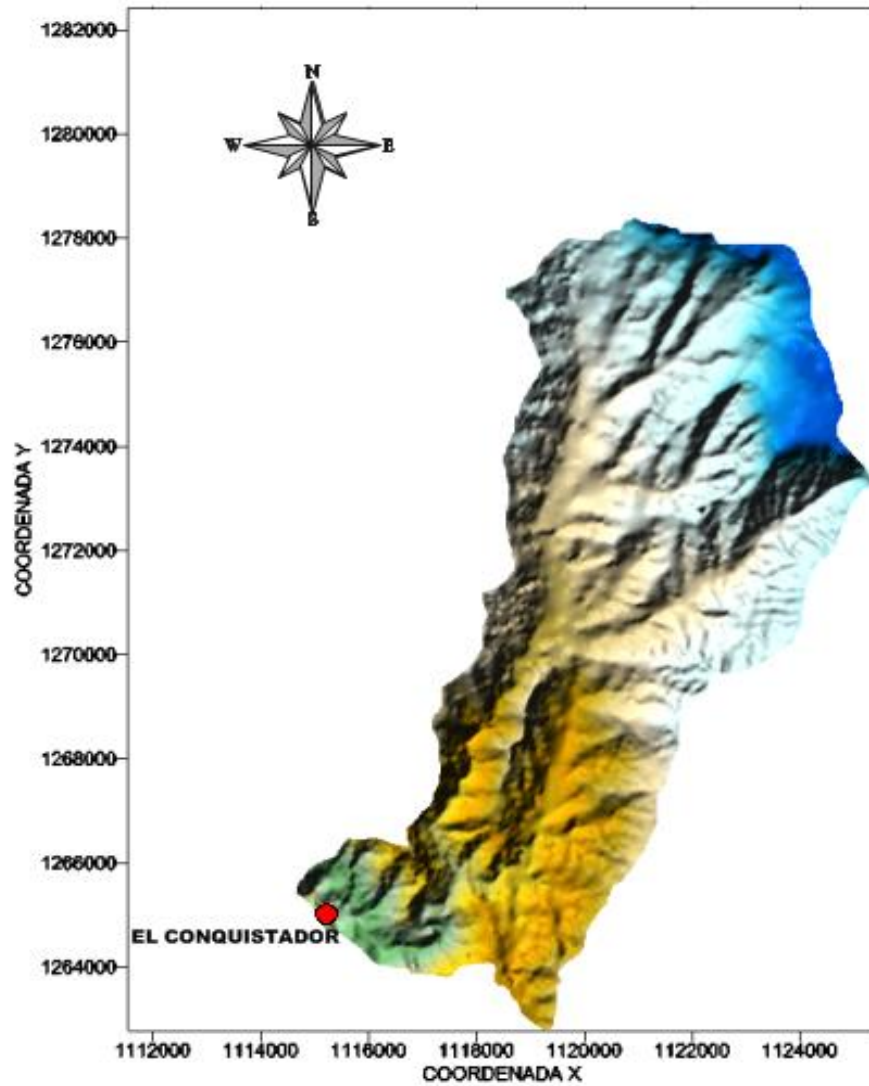
3.5. ESCORRENTÍA TOTAL

El punto de análisis para el estudio de esta variable es el cierre de la CSRO en donde se encuentra la estación *Conquistador Alto*, esta estación está a cargo del IDEAM, el cual recopila y almacena información relacionada con los caudales de forma diaria.

Para poder operar los datos entre sí, es necesario tener los dos datos (caudales y desviaciones isotópicas) en la misma escala temporal, por lo tanto es necesario

pasar los datos de caudales proporcionados a una escala semanal, esto se realizó teniendo en cuenta la siguiente consideración: la muestra escogida para el análisis isotópico corresponde al día en que se presenta el caudal mínimo en la semana, en el **anexo 9** se presentan los datos utilizados para el estudio de esta variable.

Figura 13: Ubicación de la estación “EL CONQUISTADOR”



Fuente: Autor

4. OBTENCIÓN DE LAS DESVIACIONES ISOTÓPICAS PROMEDIO

El proceso desarrollado para obtener el valor de las desviaciones isotópicas promedio de cada uno de los componentes del hidrograma, tiene en cuenta el análisis desarrollado en el capítulo anterior, en el cual se realizó la recopilación de los datos, se estableció la información a utilizar mediante un proceso de depuración localizándolos sobre la recta de Craig para descartar posibles muestras alteradas, además se determinó el periodo de estudio comprendido entre los años 2004 y 2006.

Cada dato correspondiente a la desviación isotópica y la precipitación, está ubicado en el espacio mediante una coordenada geográfica, que pertenece al punto en donde se realizó el muestreo. La presente investigación cuenta con una serie de datos correspondientes a la desviación isotópica de cada componente, así como de las precipitaciones, las cuales se utilizaron para interpolar datos faltantes en las zonas de estudio. Para realizar dicha interpolación, fue necesario espacializar los datos por medio del software *SURFER 11*, el método escogido para realizar la interpolación dentro del programa fue el *kriging*; ya que representa de una manera más clara y real la información y permite correlacionar los datos espacialmente mediante un variograma. Después de realizar la validación del mismo podemos contar con un nivel de error bajo en cada uno de los puntos interpolados.

4.1. DESVIACIÓN ISOTÓPICA PROMEDIO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Teniendo como base los mapas de espacialización de la precipitación y de isotopos de cada una de las temporadas, se procede a calcular la desviación isotópica promedio de la escorrentía superficial.

4.2. OPERACIÓN DE MAPAS PARA EL CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN ISOTÓPICA DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

El programa *SURFER 11* cuenta con una herramienta llamada "*grid-math*" que permite la operación de mapas entre sí. Una vez establecidos el número de nodos y el espaciamiento utilizado en el MDE se logró determinar el tamaño de grilla a utilizar a lo largo de este estudio, ya que para operar los mapas estos deben poseer el mismo tamaño de grilla que contiene igual número de celdas con un valor de precipitación y desviación isotópica por cada mapa respectivamente, como se observa en el **anexo 16**.

Para realizar el cálculo del promedio de la escorrentía superficial tenemos como base la ecuación 5, para la cual se hace necesario realizar la multiplicación del mapa de espacialización de la precipitación con el mapa de espacialización de contenido isotópico de cada una de las temporadas anteriormente registradas de esta forma tenemos un total de 5 mapas de espacialización de precipitación, 5 mapas de espacialización de deuterio y 5 mapas de espacialización de oxígeno 18. Para el cálculo de cada una de desviaciones isotópicas correspondientes a deuterio y oxígeno 18 se implementó la siguiente ecuación dentro del programa SURFER 11 y su herramienta grid-math:

$$\delta^2H = \frac{A * F + B * G + C * H + D * I + E * J}{A + B + C + D + E}$$

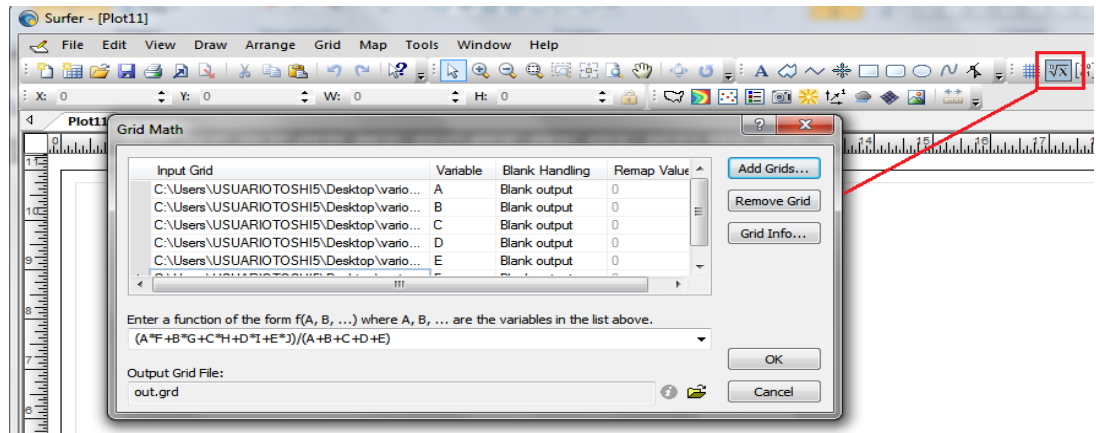
$$\delta^{18}O = \frac{A * K + B * L + C * M + D * N + E * O}{A + B + C + D + E}$$

En la cual:

- A: representa el mapa de espacialización de la segunda temporada de precipitación de 2004.
- B: representa el mapa de espacialización de la primera temporada de precipitación de 2005.
- C: representa el mapa de espacialización de la segunda temporada de precipitación de 2005.
- D: representa el mapa de espacialización de la primera temporada de precipitación de 2006.
- E: representa el mapa de espacialización de la segunda temporada de precipitación de 2006.
- F: representa el mapa de espacialización de deuterio en la segunda temporada de precipitación de 2004.
- G: representa el mapa de espacialización de deuterio en la primera temporada de precipitación de 2005.
- H: representa el mapa de espacialización de deuterio en la segunda temporada de precipitación de 2005.
- I: representa el mapa de espacialización de deuterio en la primera temporada de precipitación de 2006.
- J: representa el mapa de espacialización de deuterio en la segunda temporada de precipitación de 2006.
- K: representa el mapa de espacialización de oxígeno 18 en la segunda temporada de precipitación de 2004.
- L: representa el mapa de espacialización de oxígeno 18 en la primera temporada de precipitación de 2005.
- M: representa el mapa de espacialización de oxígeno 18 en la segunda temporada de precipitación de 2005.

- N: representa el mapa de espacialización de oxígeno 18 en la primera temporada de precipitación de 2006.
- O: representa el mapa de espacialización de oxígeno 18 en la segunda temporada de precipitación de 2006.

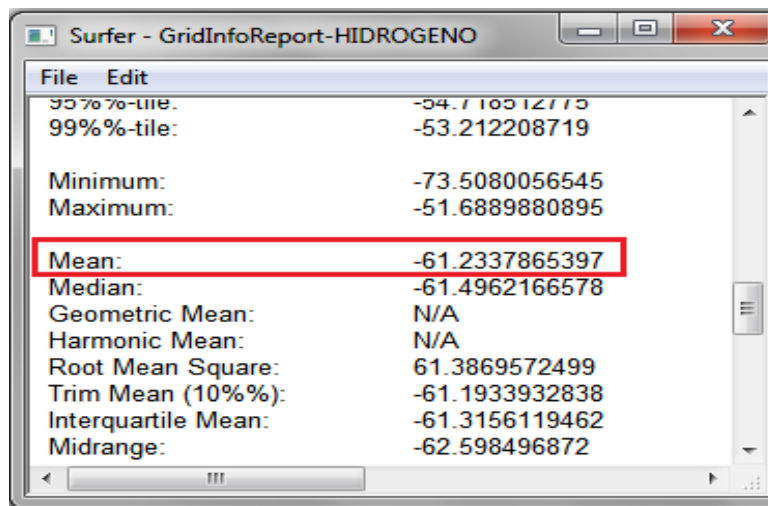
Figura 14: Operación de mapas con surfer11



Fuente: Autor

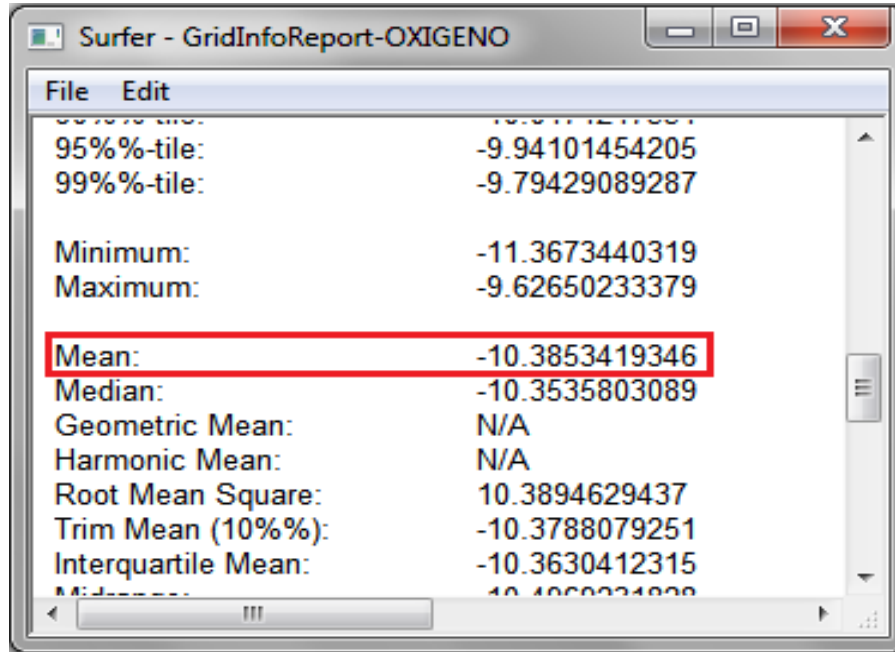
La herramienta grid-math nos permite establecer una grilla de salida la cual contiene la operación de los mapas anteriormente mencionados; en esta grilla podemos determinar con el uso de la herramienta grid-info el valor de la escorrentía superficial para cada uno de los isotopos como se muestra en la **figura 15**.

Figura 15. Desviación isotópica de la escorrentía superficial para el hidrogeno.



Fuente: Autor

Figura 16. Desviación isotópica de la escorrentía superficial para el oxígeno.



Fuente: Autor

Para verificar los datos obtenidos mediante la operación de los mapas de cada temporada se realizó un procedimiento en el cual se obtenían las desviaciones isotópicas promedio tanto de deuterio como de oxígeno 18 de cada mapa de espacialización así como también las desviaciones isotópicas promedio de la precipitación de cada temporada, cada uno de estos valores de promedio de desviación isotópica de cada mapa individual se operaron de acuerdo a la ecuación 5 y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4 para cada isótopo respectivamente.

Tabla 4. Resultados del cálculo de desviación isotópica de precipitación y contenido isotópico de la precipitación.

TEMPORADA	Precipitacion	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Pre* $\delta^{18}\text{O}$	Pre* $\delta^2\text{H}$
2004-1	91.5385	-11.2793	-73.6072	-1046.0753	-6864.3178
2005 -1	123.7249	-12.4024	-65.7603	-1522.4649	-8195.5153
2005-2	166.0882	-6.5087	-37.4306	-1081.4126	-6218.5438
2006-1	150.2287	-11.7468	-66.8587	-1760.9899	-10229.2774
2006-2	171.4126	-11.0642	-67.5841	-1893.1019	-11589.1533
$\Sigma=$	702.9928			$\Sigma=$ -7304.0446	-43096.8076

$$\delta^{2H} = \frac{-7304.0446}{702.9928} = -10.38$$

$$\delta^{18O} = \frac{-43096.8076}{702.9928} = -61.30$$

Tabla 5. Desviación isotópica promedio de la escorrentía superficial

ISOTOPICA ESCORRENTIA SUPERFICIAL δ_s	
δ^{18O}	δ^{2H}
-10.38534	-61.2338

4.3. DESVIACIÓN ISOTÓPICA PROMEDIO DE FLUJO BASE

De los modelos de espacialización, se obtuvieron las grillas con la información promedio de flujo base de cada uno de los isotopos estables presentes en el agua, con la herramienta “*gri-info*” en el programa SURFER 11, podemos registrar los resultados mostrados en la tabla 6.

Tabla 6. Desviación isotópica promedio del flujo base.

DESVIACION ISOTOPICA DE FLUJO BASE δ_o	
δ^{18O}	δ^{2H}
-8.95537761	-62.10698996

4.4. OBTENCIÓN DEL PROMEDIO ISOTÓPICO DE LA ESCORRENTÍA TOTAL

Para la obtención del promedio isotópico de la escorrentía total no es necesario espacializar los datos, ya que esta información ha sido registrada en un único punto, correspondiente a los puntos de muestreo y medidas de caudal, en donde está ubicada la estación Conquistador Alto; solo es necesario tener los datos de

caudales y de desviación isotópica en la misma escala temporal, es decir semanalmente.

Los datos de caudales y desviación isotópica recolectados en la estación se encuentran en el **anexo 18** una vez se tuvieron los datos en la misma escala temporal (semanalmente) se utilizó la ecuación (6) para obtener los valores finales.

Tabla 7. Desviación isotópica de la escorrentía total.

DESVIACION ISOTOPICA DE ESCORRENTIA TOTA δ_T	
δ_{18O}	δ_{2H}
-9.24248415	-63.2807159

5. OBTENCION DEL PORCENTAJE DE FLUJO BASE

Una vez obtenidas las desviaciones isotópicas necesarias para la separación del flujo base, como son; la desviación isotópica de la escorrentía total (δ_T), la escorrentía superficial (δ_S) y la desviación isotópica del flujo base (δ_O) promedio representativas para la CSRO, se retoma la ecuación (4), que corresponde a la separación de las componentes del hidrograma, mediante isótopos en dos componentes, obteniendo así los siguientes resultados:

- Flujo base calculado con ^{18}O

$$\frac{Q_O}{Q_T} = \left(\frac{\delta_T - \delta_S}{\delta_O - \delta_S} \right)$$

$$\left(\frac{(-9.242484152) - (-10.38534193)}{(-8.95537760513) - (-10.38534193)} \right)$$

$$0.79922118 = 79.922118\%$$

- Flujo base calculado con 2H

$$\frac{Q_O}{Q_T} = \left(\frac{\delta_T - \delta_S}{\delta_O - \delta_S} \right)$$

$$\left(\frac{(-63.28071590) - (-61.2337865397)}{(-62.10698996) - (-61.2337865397)} \right)$$

$$\mathbf{0.845526273 = 84.5526273\%}$$

6. CONCLUSIONES

En la CSRO se hallaron valores de flujo base aplicando la ecuación de conservación de masa, mediante el método de separación de flujo base por isótopos estables del agua. Los datos fueron obtenidos a partir de investigaciones anteriores y sistemas recolectores de muestras de contenidos isotópicos de las principales componentes del hidrograma, en escalas espaciales y temporales, adecuadas. El resultado obtenido del flujo base en el punto de cierre de la cuenca mediante la técnica de isótopos estables del agua presentada en esta investigación es del **79,92%** (oxígeno 18) de la escorrentía y del **84.55%** (deuterio) de la escorrentía respectivamente; el valor final de flujo base obtenido con el deuterio presenta una diferencia observable al obtenido con el oxígeno 18, esto se debe a la existencia de exceso de deuterio que ocasiona un aumento del valor total calculado al final de esta investigación, por lo tanto y analizando estudios anteriores realizados sobre la CSRO el resultado de oxígeno 18 de **79.92%** se muestra como el valor de flujo más confiable.

Con estudios anteriores como: “Separación de flujo base en la cuenca del río de oro en la estación el conquistador alto mediante la programación de algoritmos de no linealidad” se obtuvo un valor de flujo base de 81% del caudal total, [12] y “Separación de flujo base en la cuenca alta del río de oro utilizando algoritmos numéricos” obteniendo de igual forma un valor de flujo base que osciló del 81 % del caudal total [17]. Observamos una tendencia aproximada del valor total de flujo base de un 81 %, este valor se encuentra por encima del valor establecido en esta investigación que fue del 80% para el oxígeno 18; valor escogido ya que este isótopo representa de mejor manera los ciclos y condiciones necesarias para dar un resultado más fiable en cuanto al porcentaje total de flujo base.

Con esta información podemos establecer un valor de flujo base de **80 %** de la escorrentía total para la cuenca alta del río de oro; pero es necesario realizar nuevos estudios con información más reciente y más completa en cuanto a cantidad de información para establecer de mejor manera las condiciones presentes en la cuenca.

El muestreo de isótopos realizado en aguas subterráneas y aguas de río en épocas establecidas, mostró que los valores obtenidos de contenidos isotópicos, permiten diferenciar aguas subterráneas con valores que caracterizan acuíferos profundos intercomunicados. Por lo tanto, el flujo base en la cuenca se encuentra

asociado a sistemas interconectados de acuíferos locales y regionales lo cual constituye a la CSRO en una reserva importante de agua para su región de influencia.

Para determinar la desviación isotópica promedio de la escorrentía superficial (δ_5) se tuvo en cuenta el manejo de información de precipitación, tomando datos correspondientes a las épocas donde se presentan mayores registros de lluvias, mediante el análisis de los mapas de espacialización de precipitación pudimos identificar las zonas en las que se presentan mayores niveles de precipitación en cada una de las temporadas analizadas en el transcurso de esta investigación, se observa que las zonas ubicadas entre los 2300 y 3500 msnm son en las cuales los niveles de precipitación son más altos, lo que establece estas zonas de montaña como fuentes principales de abastecimiento de agua para la región de influencia de la CSRO.

El programa **SURFER 11** permite la operación de mapas de variables hidrológicas, previamente especializadas ofreciendo resultados tanto numéricos como gráficos que facilitan la comprensión y el manejo de la información. En esta investigación se obtuvieron mapas de especialización de precipitación, y de contenido isotópico dentro de la CSRO, mostrando al programa SURFER 11 como una herramienta eficaz para el desarrollo de nuevos estudios tanto en el marco hidrológico como en el de otros factores geo estadísticos, que permitan el estudio de los procesos, y variables que se encuentran relacionadas con las condiciones reales existentes en la CSRO.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **ACOSTA, Miguel Ramon.** Bucaramanga, 2006. Trabajo de grado (Aplicación del Modelo Hidrológico Conceptual NAM. Precipitación –Escorrentía en la Cuenca del Río de Oro). Universidad Industrial de Santander.
- [2] **APARICIO, Francisco.** Fundamentos de hidrología de superficie. Noriega editores Limusa: 1987. 27-35p.
- [3] **CAMACHO, Hernan. y GUZMÁN, Diego.** Bucaramanga, 2005. Trabajo de grado (Implementación de una red de muestreadores de isótopos estables para obtener la recta meteórica local). Universidad Industrial de Santander.
- [4] **CARRILLO, Rainerio. y SOTO, Fabio.** Bucaramanga, 2009. Trabajo de grado (Comportamiento isotópico de las aguas lluvias en la cuenca superior del rio Lebrija). Universidad Industrial de Santander.
- [5] **CASTELLANOS, Rafael. , y Torres, Disson.** Bucaramanga, 2009. Trabajo de grado (Elaboración de Un Modelo Digital de Elevación y Delimitación del Tipo de Suelo Presente en la Cuenca Superior del Río de Oro). Universidad Industrial de Santander.
- [6] **CHAPMAN, Tom.** Hydrological Processes. Vol. 13. 1999, pp.701-714. “A comparison of algorithms for stream Flow recession and base flow separation”.
- [7] **CLARK, Ian. y FRITZ, Peter.** Environmental Isotopes in Hydrogeology. Ed. Lewis. New York (USA). 1997. 99-102p.
- [8] **CRAIG, H.** “Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters”. Sciences. Vol. 133. 1961. pp. 1833- 1834.
- [9] **FELICISIMO, Angel.** “Modelos Digitales del Terreno”. {En linea}. {citado:21 Octubre de 2014} disponible en: (<http://www.etsimo.uniovi.es/>).

[10] **FORERO, Juan.** Bucaramanga, 2012, 36p. Tesis de grado (Modelo hidrológico distribuido de la cuenca superior del río de oro). Universidad Industrial de Santander.

[11] **FRANCÉS, Felix. y CASASO, Benito.** Ingeniería del Agua: La modelación distribuida con pocos parámetros, 1995, 7-24p.

[12] **GÓMEZ, Derly. y GÓMEZ, Luz.** Bucaramanga, 2012. Trabajo de grado (Separación de flujo base en la cuenca del río de oro en la estación conquistador alto mediante la programación de algoritmos de no linealidad). Universidad Industrial de Santander.

[13] **GÓMEZ, Sully. y COLEGIAL, Javier.** Informe de Investigación UIS-Colciencias,. Interacción entre sistemas hidrogeológicos para el estudio del fenómeno de recarga en el macizo de Santander e identificación de acuíferos. 2003, 45-58p.

[14] **GUTHRIE CAD:GIS.** “Extracción de coordenadas: DXF2XYZ”. {En línea}. Disponible en: (http://download.cnet.com/Guthrie-DXF2XYZ/3000-2191_4-75941329.html) {citado 12 Noviembre de 2014}.

[15] **GUZMÁN, Jorge., ARCHILA, Anaya., NIÑO, Eduard., GÓMEZ, Sully.** Cuenca Experimental del Río Sucio Municipio de Tona. Bucaramanga, 2005. Informe técnico (Grupo en Predicción y modelamiento hidrológico). Universidad Industrial de Santander.

[16] **LÓPEZ Wilson y OSORIO, Rafael.** Bucaramanga, 2005. Tesis de grado (Modelo Digital de Elevación para la Cuenca del Río de Oro). Universidad Industrial de Santander.

[17] **MACHUCA, Diana.** Bucaramanga, 2012. Trabajo de grado (Separación de flujo base en la cuenca alta del río de oro utilizando algoritmos numéricos). Universidad Industrial de Santander.

[18] **MCDONNELL, J.J., BONNELL, M., STEWART, J.K. y PEARCE, A.J.** “Deuterium Variations in Store Rainfall: Implications for Stream Hydrograph Separation”. Water Res. Resear. Vol. 26 No. 3. 1990. pp. 455-458.

[19] **POVEDA, German., JARAMILLO, Alvaro., y MANTILLA, Ricardo.** Influencia del evento cálido del Pacífico sobre la Humedad del Suelo y el Índice Normalizado de Vegetación en Colombia. 2000, *Revista Cenicafé*, 51 (4): 263-271.

[20] **ULLOA, A., y GÓMEZ, Sully.** Proyecto de Investigación (Geología e hidrología en la región central del departamento de Santander). INGEOMINAS. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2007.

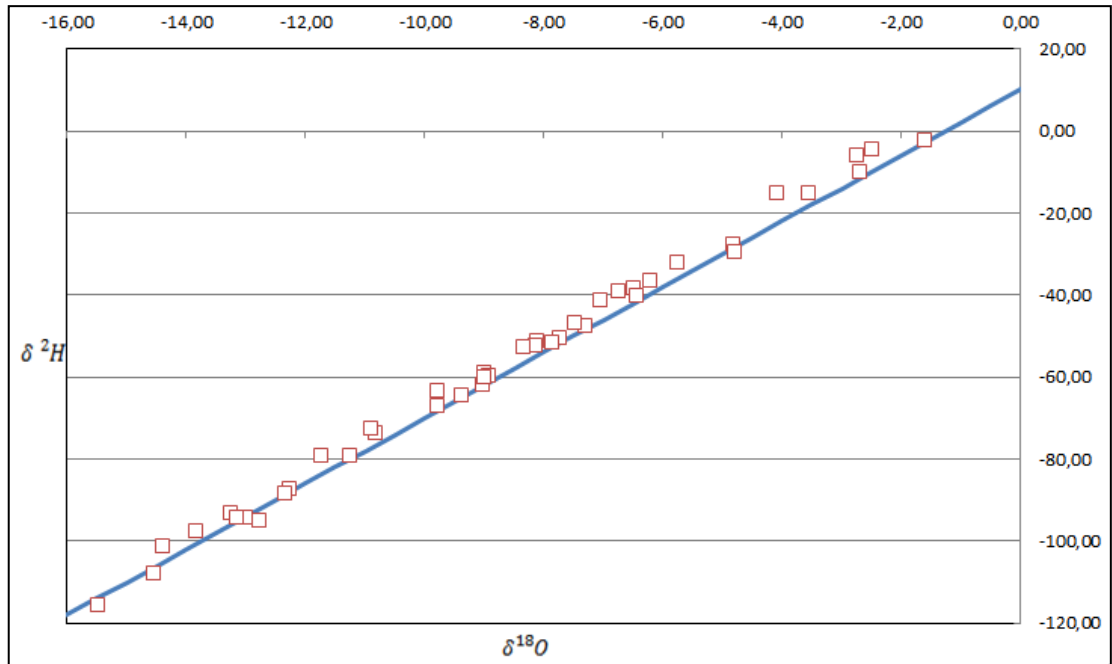
[21] **UNESCO-IAEA.** Environmental isotopes in the hydrological cycle. "Principles and applications IHP-V Technical Documents in Hydrology". No. 39. 2001, 35-52p.

[22] **VÁSQUEZ, Jhon. y ARROYAVE Julieth.** Bucaramanga, 2009, 22p. Tesis de grado (Separación del Flujo Base Utilizando Isótopos Estables del Agua en la Cuenca Superior del Río Lebrija). Universidad Industrial de Santander.

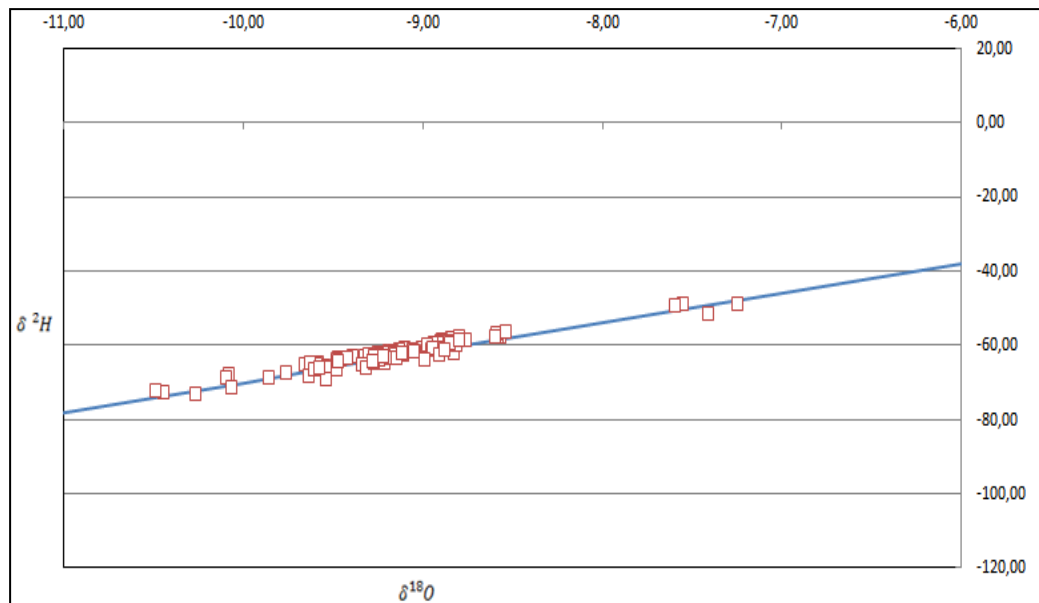
ANEXOS

Anexo A. Análisis de datos por medio de la recta de Craig.

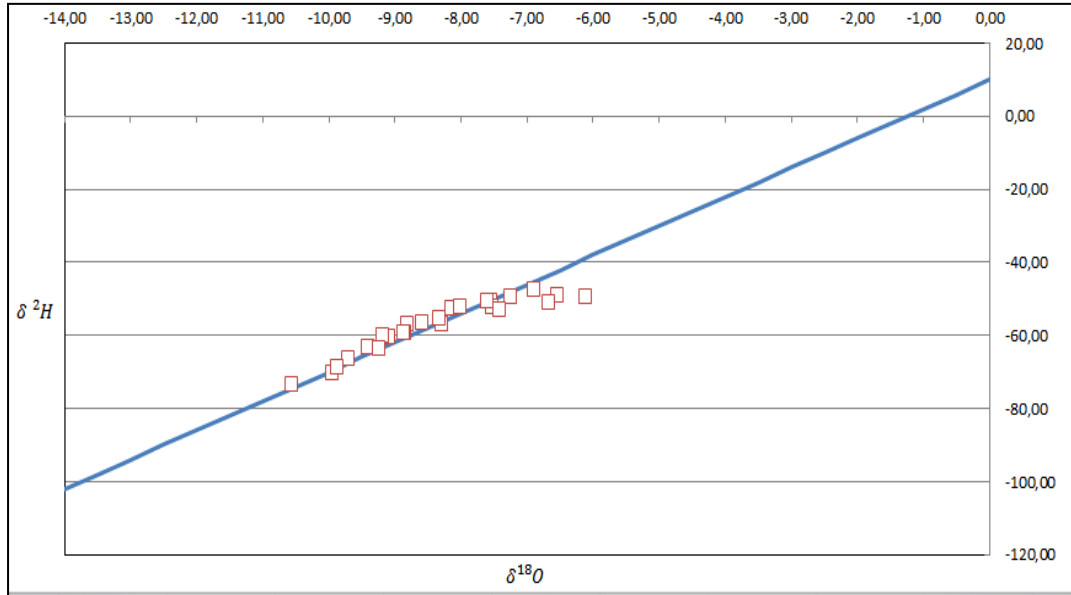
- Isotopos de precipitación.



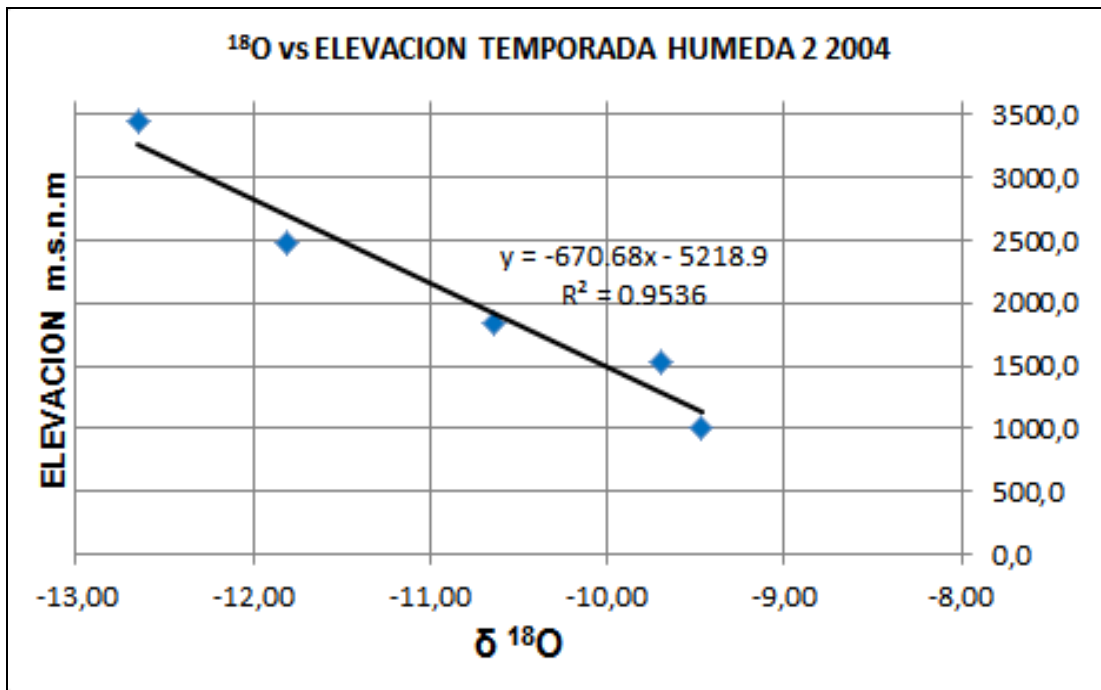
- Isotopos estación el conquistador alto.

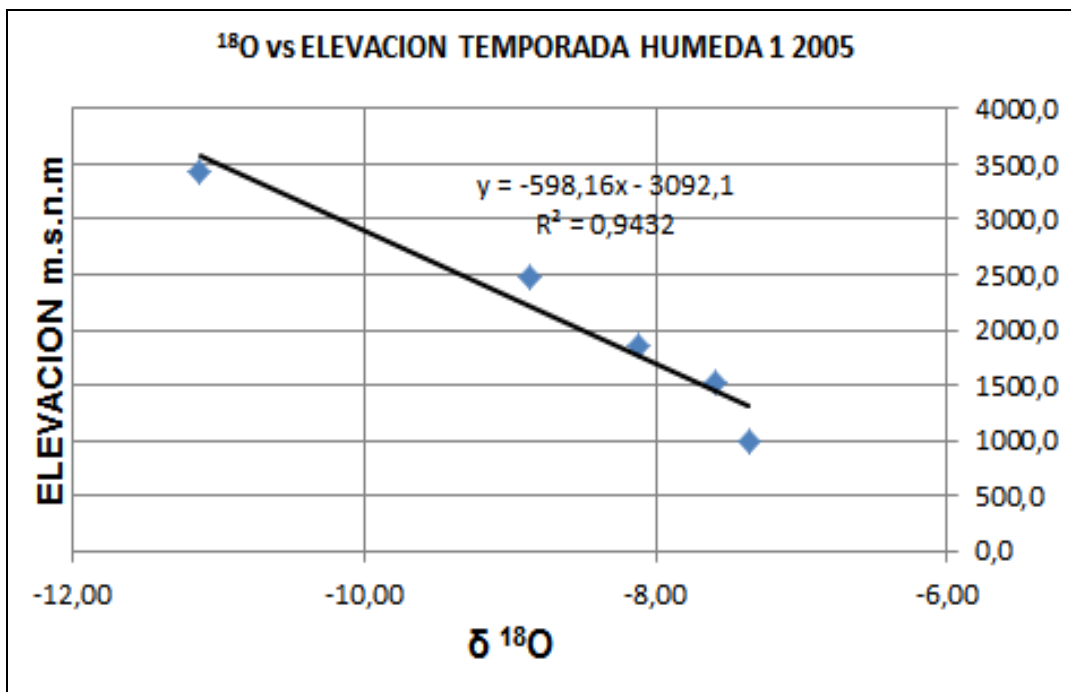
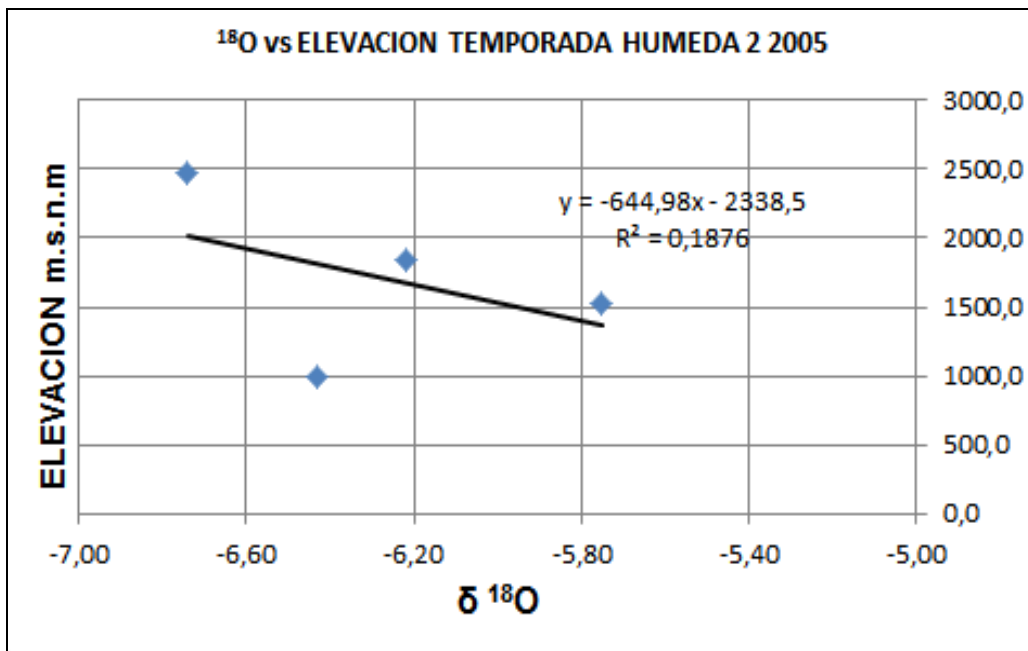


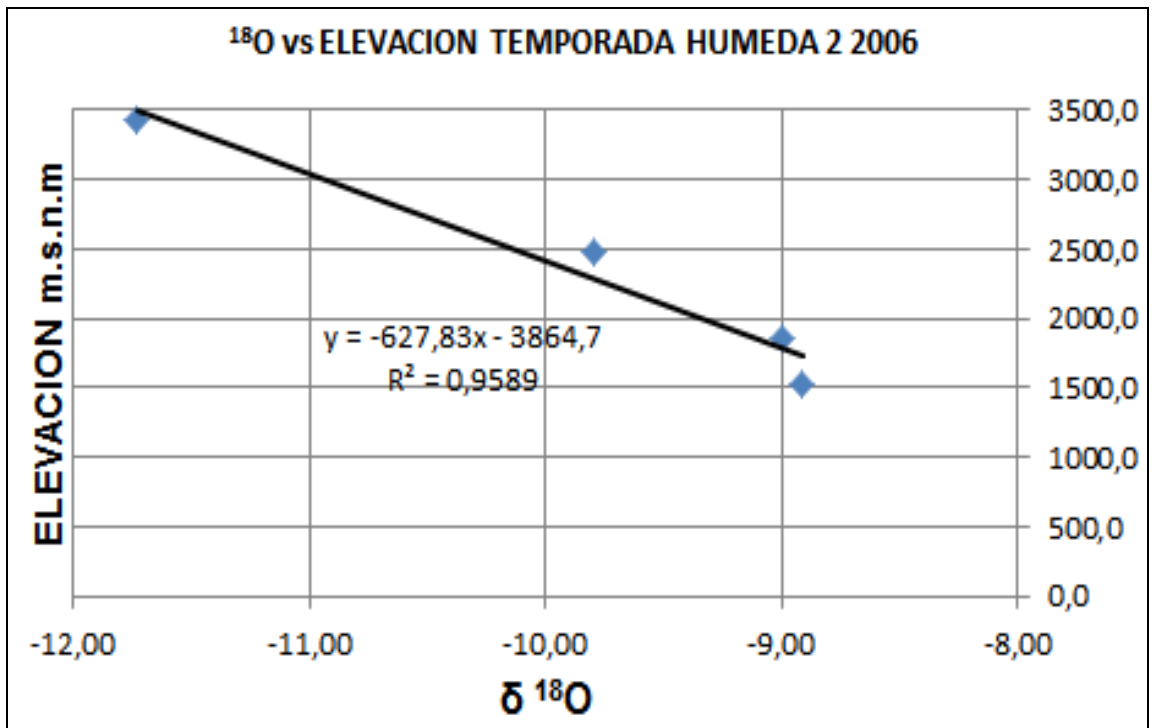
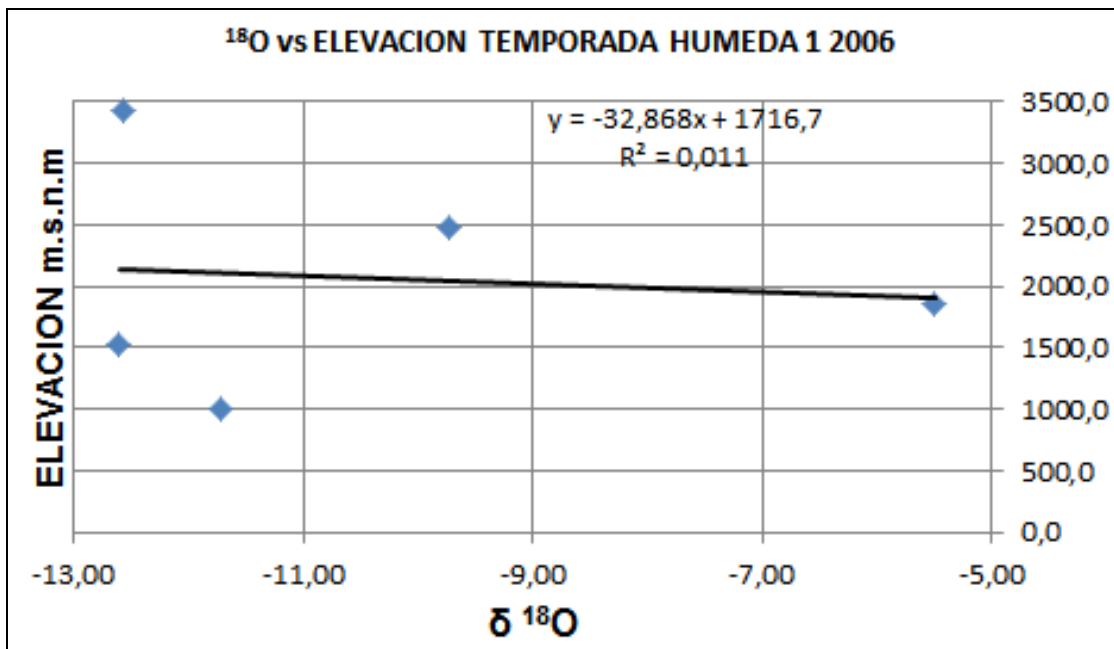
- Isotopos estación de flujo base.

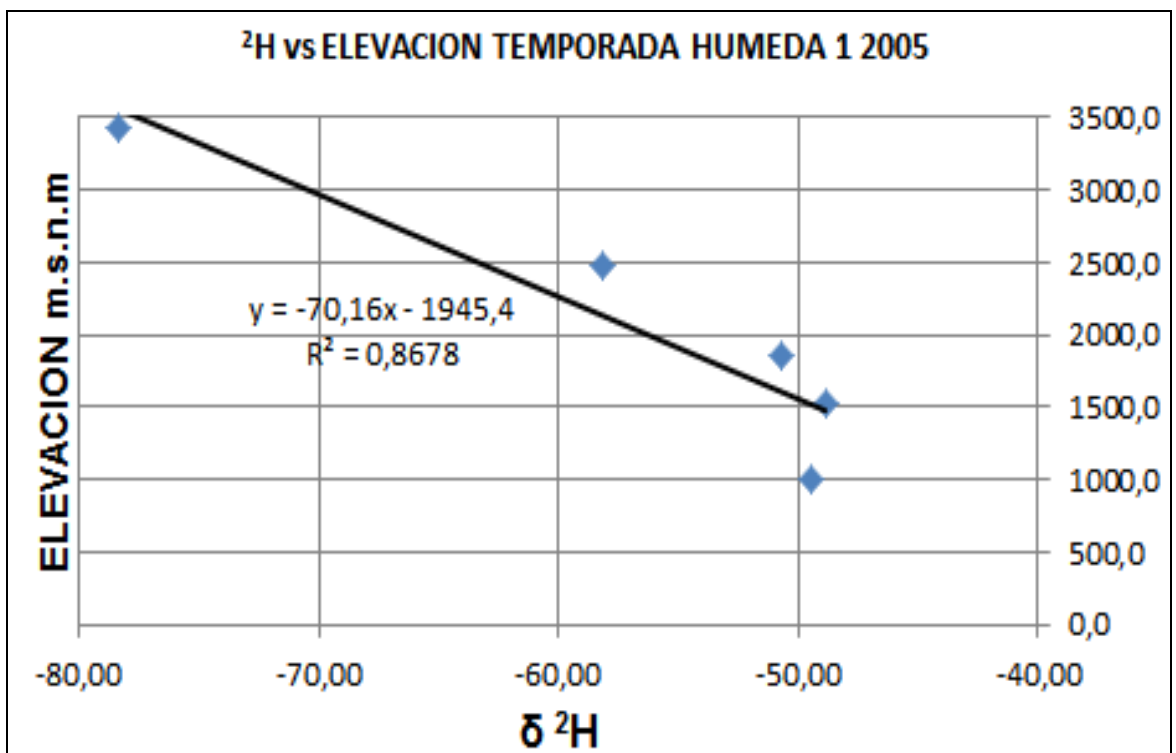
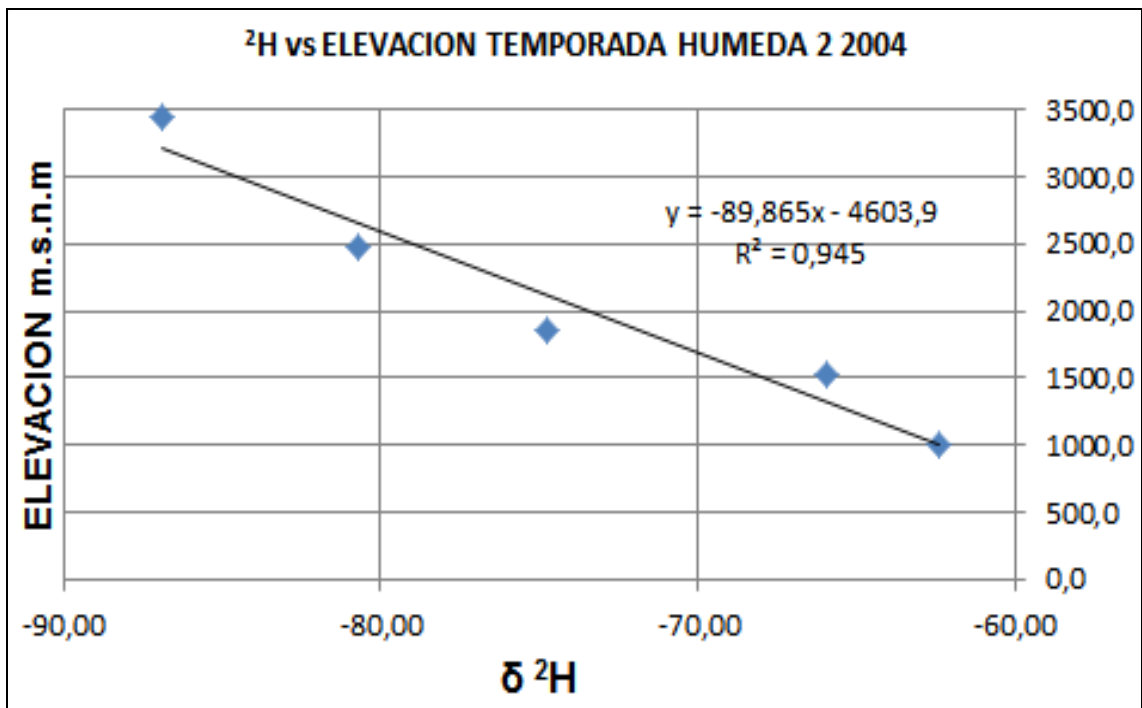


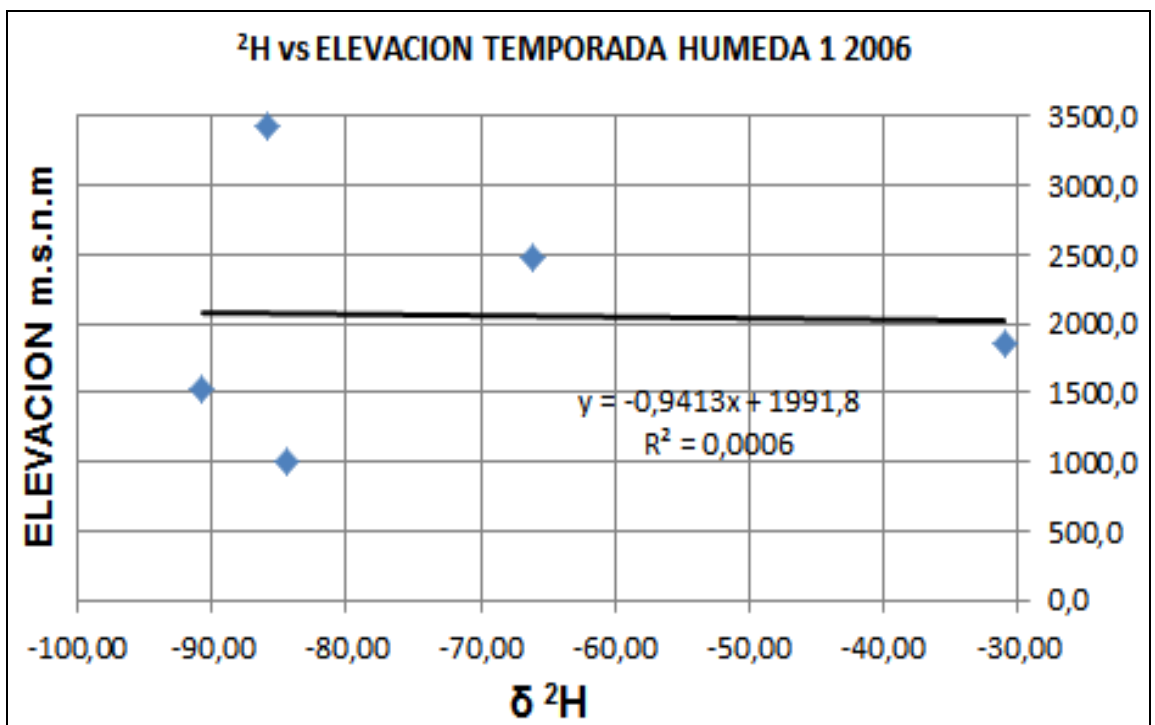
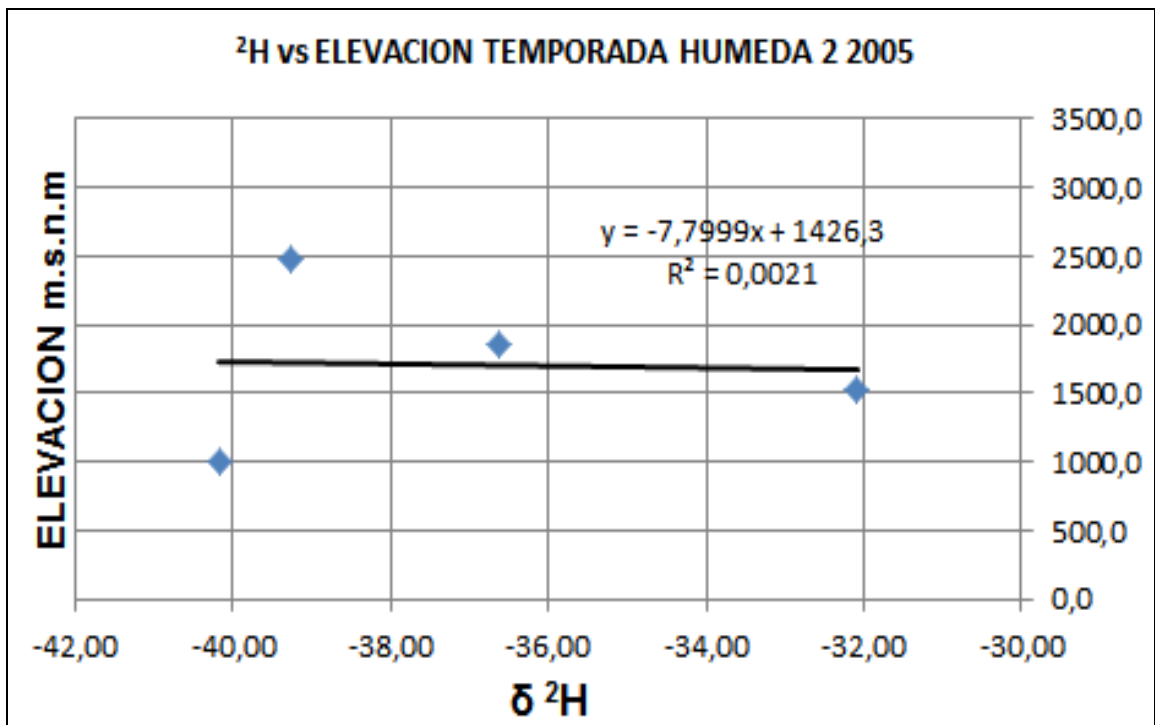
- Gráficos correspondientes al análisis de la relación entre la desviación isotópica y la elevación.

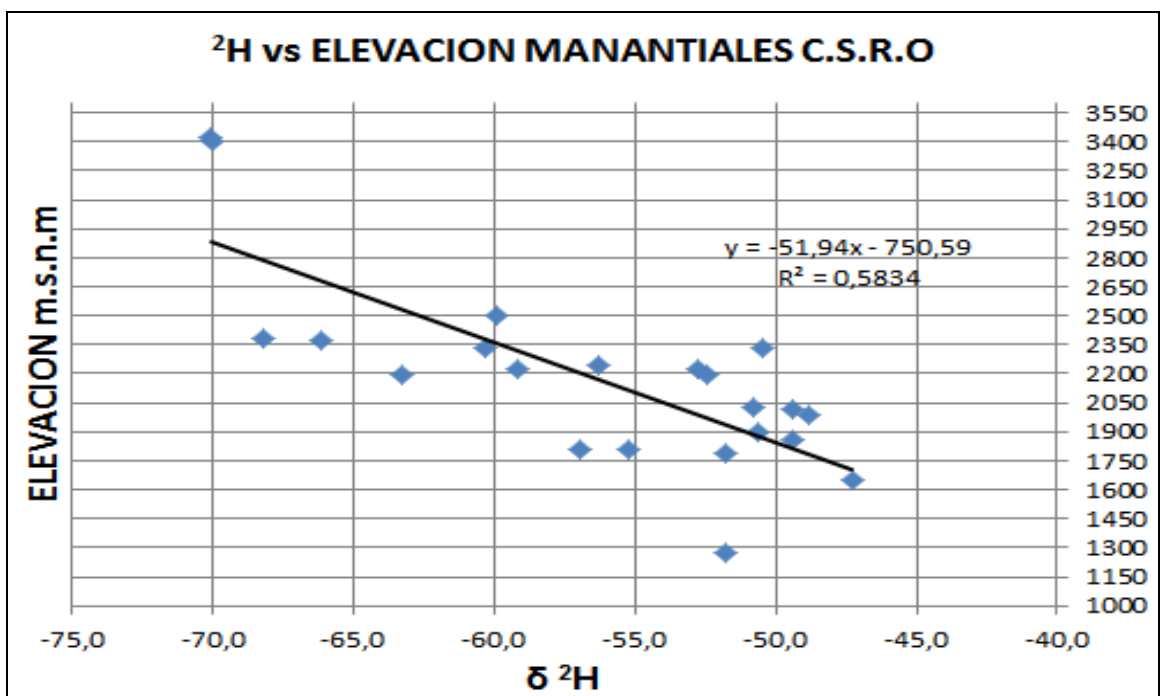
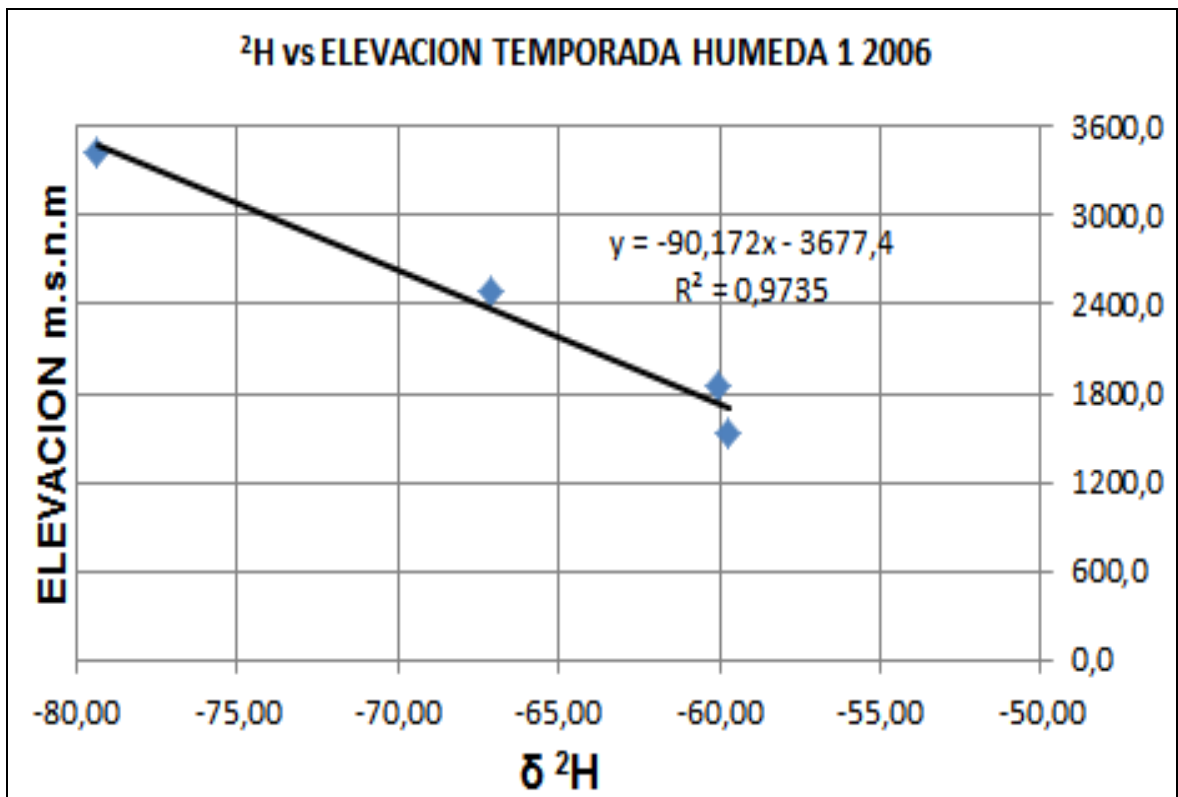


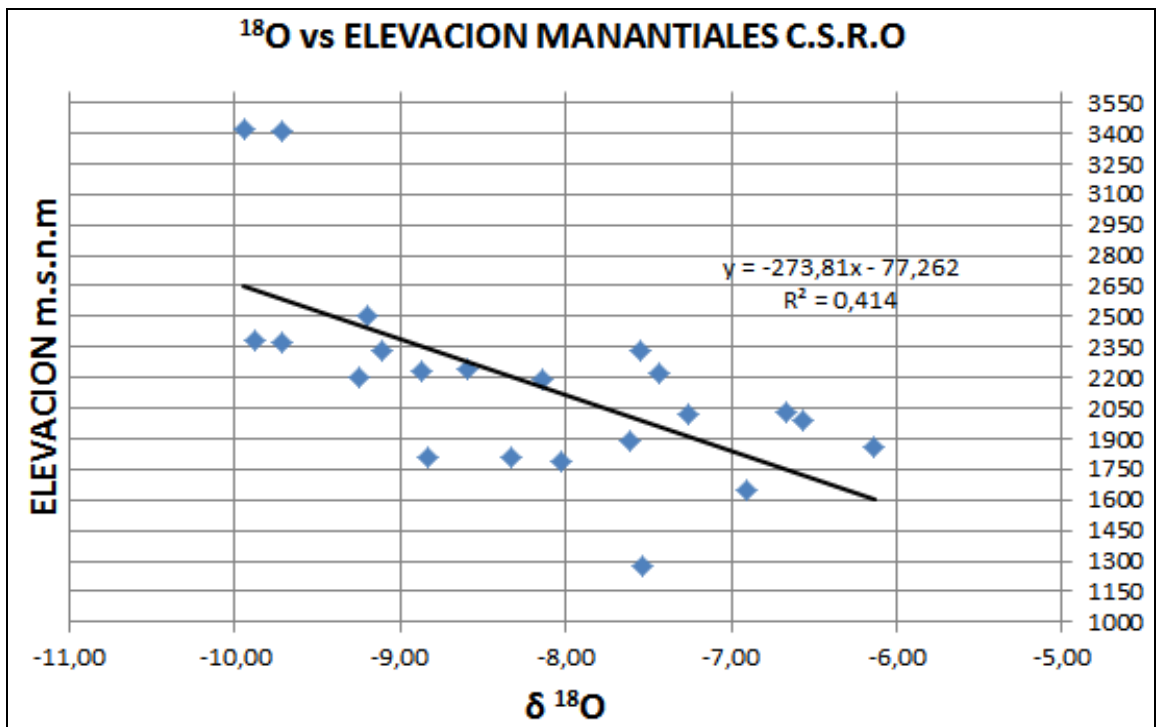












Anexo B. Exceso de deuterio de las muestras objeto en la investigación.

ISOTOPOS DE PRECIPITACION					
AÑO	MES	PUNTO DE MUESTRA	$\delta^{18}O$	δ^2H	EXCESO DE DEUTERIO
2004	OCTUBRE	PIEDRECUESTA	-10,83	-73,64	13,0
		SAN ANTONIO	-11,25	-79,46	10,5
		LA GALVICIA	-12,25	-87,41	10,6
		LA MARIANA	-13,84	-97,83	12,9
		EL PICACHO	-14,40	-101,35	13,9
	NOVIEMBRE	PIEDRECUESTA	-8,11	-51,15	13,7
		SAN ANTONIO	-8,13	-52,49	12,6
		LA GALVICIA	-9,02	-62,08	10,1
		LA MARIANA	-9,78	-63,56	14,7
		EL PICACHO	-10,90	-72,48	14,7
2005	MARZO	PIEDRECUESTA	-1,59	-2,50	10,2
		SAN ANTONIO	-2,49	-4,60	15,3
		LA GALVICIA	-2,73	-6,17	15,7
		LA MARIANA	-4,09	-15,27	17,5
		EL PICACHO	-6,50	-38,43	13,6
	ABRIL	PIEDRECUESTA	-7,73	-50,59	11,3
		SAN ANTONIO	-7,29	-47,66	10,7
		LA GALVICIA	-8,34	-52,64	14,1
		LA MARIANA	-9,38	-64,65	10,4
		EL PICACHO	-12,33	-88,56	10,1
	MAYO	PIEDRECUESTA	-12,77	-95,13	7,0
		SAN ANTONIO	-12,99	-94,31	9,6
		LA GALVICIA	-13,26	-93,13	13,0
		LA MARIANA	-13,15	-94,53	10,7
		EL PICACHO	-14,55	-107,96	8,4
	SEPTIEMBRE	PIEDRECUESTA	-6,43	-40,18	11,3
		SAN ANTONIO	-5,75	-32,09	13,9
		LA GALVICIA	-6,22	-36,62	13,1
		LA MARIANA	-6,74	-39,26	14,7
	2006	MARZO	SAN ANTONIO	-2,69	-10,09
LA MARIANA			-4,81	-27,82	10,7
EL PICACHO			-7,05	-41,36	15,0
ABRIL		PIEDRECUESTA	-4,78	-29,55	8,7
		SAN ANTONIO	-15,49	-115,55	8,4
		LA GALVICIA	-3,54	-15,11	13,2
		LA MARIANA	-7,86	-51,52	11,4
		EL PICACHO	-9,00	-58,92	13,1
MAYO		PIEDRECUESTA	-18,66	-139,20	10,1
		SAN ANTONIO	-19,61	-146,58	10,3
		LA GALVICIA	-7,47	-46,85	12,9
		LA MARIANA	-16,49	-119,05	12,9
		EL PICACHO	-21,64	-157,31	15,8
OCTUBRE		SAN ANTONIO	-8,91	-59,70	11,6
		LA GALVICIA	-9,00	-60,08	11,9
	LA MARIANA	-9,79	-67,08	11,2	
	EL PICACHO	-11,73	-79,36	14,5	

ISOTOPOS EST. EL CONQUISTADOR			
FECHA	$\delta^{18}O$	δ^2H	EXCESO DE DEUTERIO
11-ene-05	-9,24	-62,4	11,6
21-ene-05	-7,55	-49,0	11,5
27-ene-05	-9,11	-60,8	12,1
6-feb-05	-9,13	-61,1	11,9
13-feb-05	-8,84	-58,3	12,4
16-feb-05	-7,60	-49,1	11,7
22-feb-05	-8,90	-58,4	12,8
4-mar-05	-8,91	-59,0	12,2
13-mar-05	-8,94	-59,3	12,2
19-mar-05	-8,90	-58,9	12,4
24-mar-05	-8,93	-59,5	11,9
30-mar-05	-8,80	-57,5	13,0
10-abr-05	-8,86	-59,1	11,8
16-abr-05	-9,25	-62,2	11,9
21-abr-05	-9,20	-61,7	11,9
30-abr-05	-9,01	-60,7	11,4
2-may-05	-8,98	-59,9	11,9
15-may-05	-10,09	-67,8	12,9
16-may-05	-10,10	-68,8	12,0
26-may-05	-9,66	-65,4	11,9
3-jun-05	-9,47	-63,4	12,4
12-jun-05	-10,45	-72,9	10,7
18-jun-05	-9,55	-65,6	10,8
21-jun-05	-9,62	-65,5	11,5
2-jul-05	-9,46	-64,0	11,6
6-jul-05	-9,33	-63,1	11,6
16-jul-05	-9,59	-64,6	12,1
18-jul-05	-9,48	-63,5	12,3
26-jul-05	-9,40	-63,0	12,2
11-ago-05	-9,25	-62,6	11,4
12-ago-05	-9,27	-64,2	10,0
19-ago-05	-9,56	-66,6	9,9
27-ago-05	-9,22	-64,6	9,2
1-sep-05	-9,25	-64,0	10,0
10-sep-05	-9,12	-62,7	10,3
13-sep-05	-9,04	-61,8	10,6
19-sep-05	-8,95	-61,3	10,3
26-sep-05	-8,89	-59,5	11,6
4-oct-05	-9,05	-61,4	11,0
16-oct-05	-9,42	-63,6	11,8
17-oct-05	-9,54	-66,0	10,3
24-oct-05	-9,17	-61,5	11,9
3-nov-05	-9,30	-62,5	12,0
19-nov-05	-9,48	-63,9	12,0
26-nov-05	-9,60	-65,3	11,5
2-dic-05	-9,28	-62,9	11,4
6-dic-05	-9,19	-62,0	11,5
12-dic-05	-9,17	-62,1	11,3
19-dic-05	-9,16	-62,5	10,8
26-dic-05	-9,06	-61,4	11,1
06-ene-06	-9,11	-62,7	10,2
13-ene-06	-9,19	-63,2	10,3
21-ene-06	-9,05	-61,8	10,7
29-ene-06	-8,96	-61,0	10,6
31-ene-06	-8,91	-60,6	10,7
11-feb-06	-8,95	-60,9	10,7
19-feb-06	-8,99	-63,6	8,3

ISOTOPOS EST. EL CONQUISTADOR			
FECHA	$\delta^{18}O$	δ^2H	EXCESO DE DEUTERIO
23-feb-06	-8,91	-62,4	8,9
02-mar-06	-8,57	-57,5	11,1
11-mar-06	-8,83	-62,2	8,4
17-mar-06	-8,86	-59,1	11,8
22-mar-06	-8,58	-57,8	10,9
02-abr-06	-8,82	-60,1	10,5
04-abr-06	-8,59	-56,9	11,8
11-abr-06	-8,60	-57,7	11,1
23-abr-06	-8,85	-59,3	11,5
25-abr-06	-8,54	-56,2	12,2
01-may-06	-7,25	-48,83	9,2
14-may-06	-8,88	-61,15	9,9
21-may-06	-10,49	-72,31	11,6
24-may-06	-10,27	-73,19	9,0
29-may-06	-9,48	-66,66	9,2
07-jun-06	-7,41	-51,33	8,0
17-jun-06	-9,54	-68,94	7,4
24-jun-06	-9,34	-65,27	9,5
01-jul-06	-12,09	-85,07	11,7
03-jul-06	-9,64	-68,11	9,0
13-jul-06	-9,47	-64,35	11,4
22-jul-06	-9,63	-64,81	12,2
26-jul-06	-10,07	-71,43	9,1
31-jul-06	-9,86	-68,67	10,2
16-sep-06	-9,32	-66,11	8,5
24-sep-06	-9,28	-64,25	10,0
02-oct-06	-9,15	-63,54	9,7
09-oct-06	-9,61	-66,41	10,5
21-oct-06	-9,58	-66,17	10,5
29-oct-06	-9,27	-64,67	9,5
04-nov-06	-9,76	-67,31	10,8
10-nov-06	-9,12	-62,05	10,9
13-nov-06	-8,76	-58,73	11,4
21-nov-06	-9,28	-64,36	9,9
02-dic-06	-8,8	-58,62	11,8
09-dic-06	-9,22	-62,88	10,9
11-dic-06	-8,78	-63,24	7,0
31-dic-06	-8,81	-63,18	7,3
9-ene-07	-8,29	-60,35	6,0
2-feb-07	-9,03	-61,18	11,1
9-feb-07	-10,13	-71,18	9,9
1-mar-07	-8,36	-62,01	4,9
11-mar-07	-8,33	-60,99	5,7
12-mar-07	-10,31	-74,52	8,0
20-mar-07	-9,28	-64,77	9,5
28-mar-07	-9,05	-64,03	8,4
10-jun-07	-7,47	-49,42	10,3
11-jun-07	-8,35	-56,52	10,3
23-jun-07	-8,06	-57,32	7,2
8-sep-07	-9,82	-64,64	13,9
11-sep-07	-9,42	-65,69	9,7
21-sep-07	-9,45	-65,02	10,6
23-sep-07	-9,58	-64,23	12,4
24-oct-07	-8,44	-55,71	11,8
31-oct-07	-8,36	-55,44	11,4
4-nov-07	-9,88	-66,94	12,1
8-nov-07	-9,21	-60,91	12,8
17-nov-07	-9,53	-64,9	11,3
20-nov-07	-9,4	-63,78	11,4
1-dic-07	-8,92	-60,57	10,8
8-dic-07	-8,79	-60,27	10,1
11-dic-07	-7,89	-55,49	7,6
17-dic-07	-9,32	-62,92	11,6
24-dic-07	-9,28	-61,55	12,7

ISOTOPOS EST. FLUJO BASE				
FECHA	PUNTO-MUESTRA	$\delta^{18}O$	δ^2H	EXCESO DE DEUTERIO
10/02/2010	Conquistador	-10,57	-73,30	11,2
10/02/2010	Km 15 Via ICP-La Vega	-8,14	-52,40	12,7
10/02/2010	Km 16 Via ICP-La Vega	-8,59	-56,31	12,4
10/02/2010	Km 18 Via ICP-La Vega izquierda	-9,11	-60,29	12,6
10/02/2010	Km 18Via ICP-La Vega derecha	-7,55	-50,42	10,0
10/02/2010	Km 18 Via ICP-Puente a Sevilla	-9,41	-62,83	12,5
12/02/2010	Picacho-Uval	-9,95	-70,03	9,5
12/02/2010	Picacho-La Mosita	-8,30	-56,96	9,4
12/02/2010	Rio Frio - Km 20	-8,83	-56,96	13,7
12/02/2010	Manantial Rio Frio	-8,33	-55,25	11,4
12/02/2010	Tona Carrizal	-7,54	-51,77	8,5
12/02/2010	Aljibe Km 18	-8,85	-58,99	11,8
30/01/2011	Dia 4 FID 4	-8,02	-51,7	12,4
30/01/2011	Dia 4 FID 8	-7,26	-49,4	8,7
30/01/2011	El Carajo	-7,44	-52,7	6,8
27/01/2011	Dia 1 FID 4	-6,90	-47,3	7,9
27/01/2011	Dia 1 FID 7	-6,56	-48,8	3,7
27/01/2011	Dia 1 FID 9	-6,67	-50,8	2,6
28/01/2011	Dia 2 FID 0	-8,87	-59,2	11,7
28/01/2011	Dia 2 FID 2	-9,20	-59,9	13,7
29/01/2011	Dia 3 FID 1	-9,72	-66,1	11,7
29/01/2011	Dia 3 FID 3	-9,88	-68,2	10,8
29/01/2011	Dia 3 FID 4	-9,25	-63,3	10,7
29/01/2011	Dia 3 FID 8	-6,13	-49,4	-0,3

Anexo C. Validación del variograma en Surfer

Antes de construir un mapa de contornos o superficie en Surfer podemos elegir el variograma que mejor modela los datos a través de la función Cross Validate. Esta función compara el valor real medido con uno estimado en el mismo punto, es decir calcula el error de estimación (residuo)

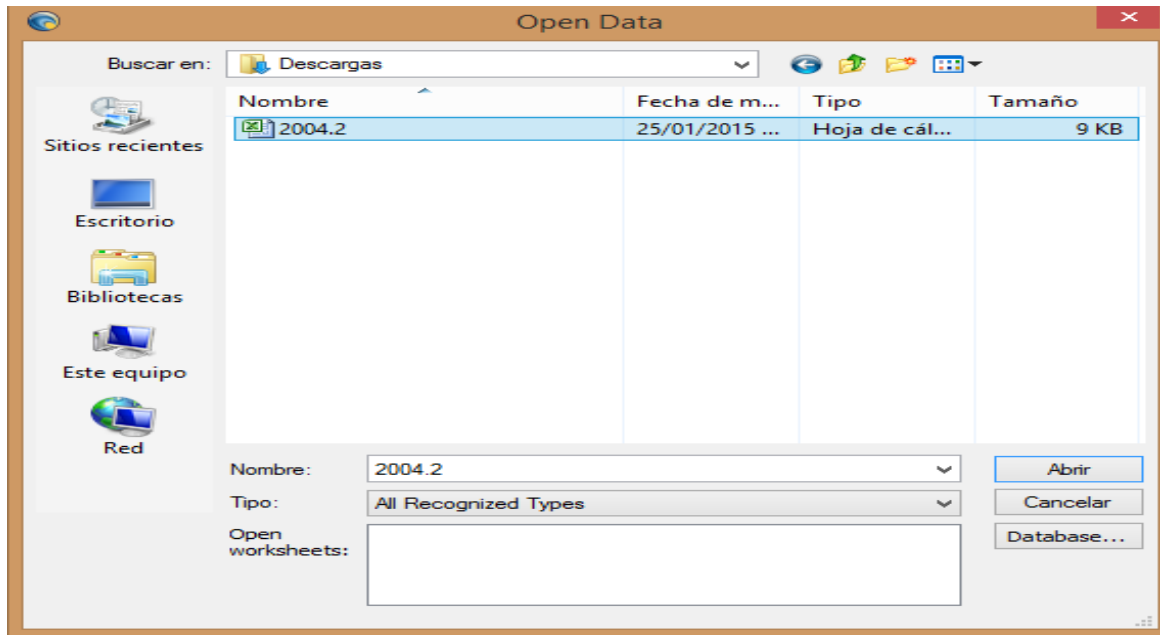
$$\varepsilon = Z_a^0 - Z_a$$

Donde Z_a^0 es el valor estimado en el punto a, mientras que Z_a es el valor medido en el mismo punto.

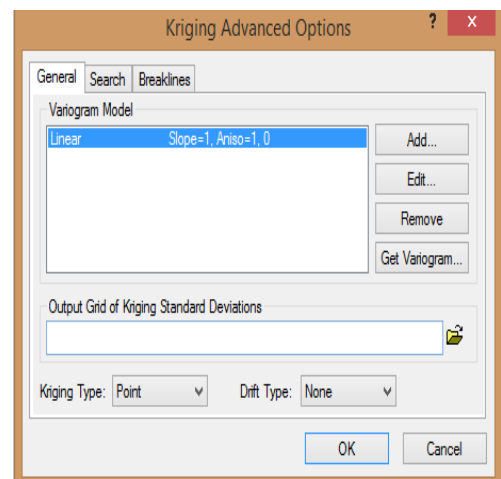
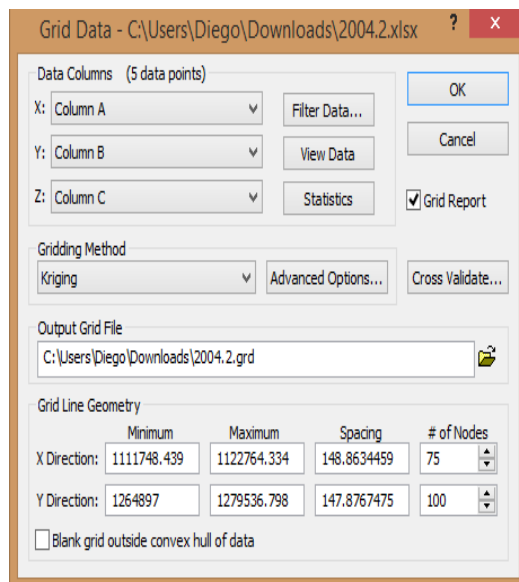
Al realizar el histograma del error, este debe tener una distribución gaussiana, media igual a cero y mediana 1.

La forma de proceder es construir los diferentes variogramas que queremos comparar y a cada uno de ellos realizar Cross Validate y anotar el valor de la media de los residuos. El variograma cuya MEDIA de los residuos esté más cercana a CERO, será el que mejor modela los datos.

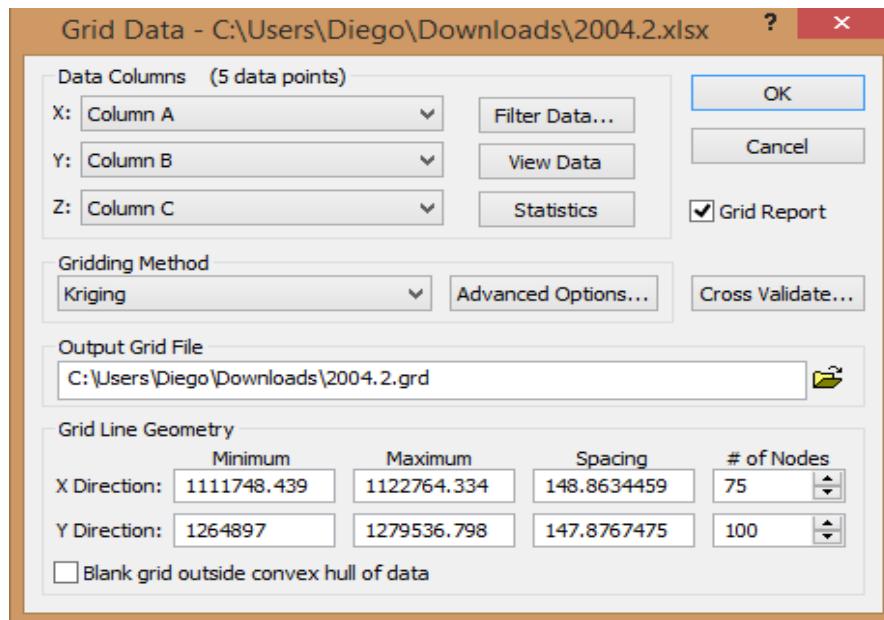
Se puede validar variogramas que se trabajó y se tenga guardados o introducirlo manual para esto damos clic en el botón advanced options y aparecerá una ventana.



En esta ventana podremos agregar, editar, eliminar o si el ya tenemos uno en la ventana podemos copiar sus propiedades y exportar uno que hallamos trabajado.



Para realizar cross validation se procede de la siguiente forma. Cuando estamos creando el grid de predicción y de desviaciones estándar, en la ventana Grid Data se encuentra el



botón Cross Validate.

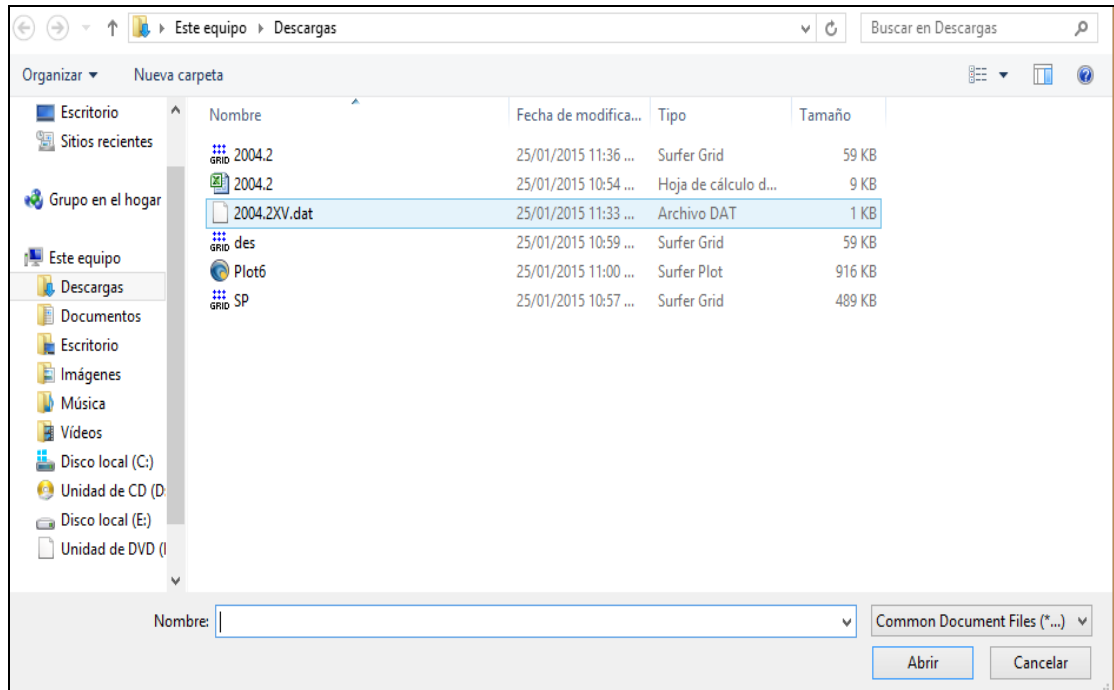
Damos clic en dicho botón y aparece una ventana que tiene el campo Cross Validation Results File, allí introducimos nombre del archivo de salida. En este caso será 2004.2.

Damos clic en OK, nos presenta el siguiente reporte.

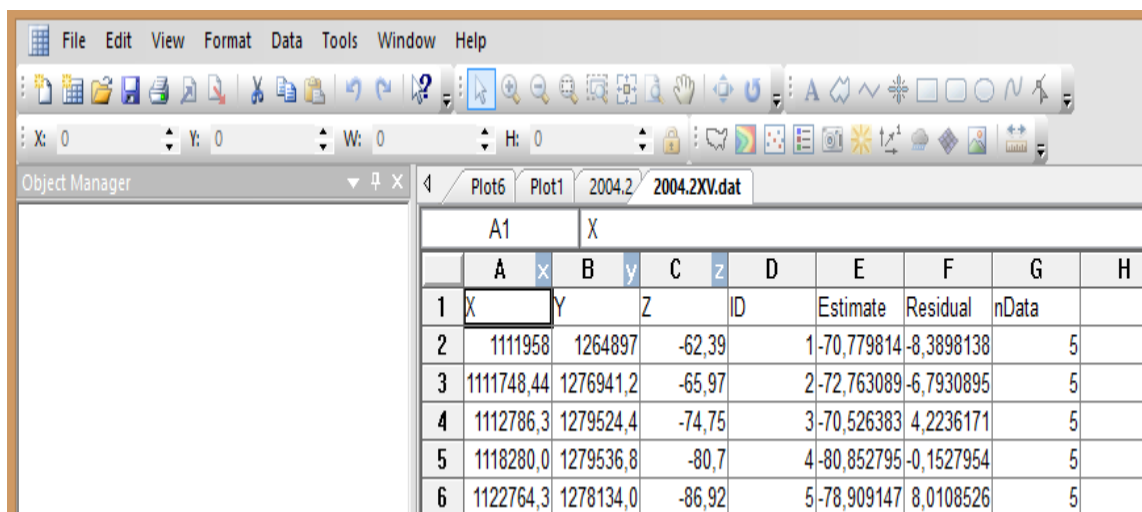
Cross Validation Report			
Sun Jan 25 23:33:23 2015			
Data Source			
Source Data File Name:	C:\Users\Diego\Downloads\2004.2.xlsx (sheet 'Hoja1')		
X Column:	A		
Y Column:	B		
Z Column:	C		
Gridding Rules			
Gridding Method:	Kriging		
Kriging Type:	Block		
Polynomial Drift Order:	0		
Kriging std. deviation grid:	no		
Semi-Variogram Model			
Component Type:	Linear		
Anisotropy Angle:	0		
Anisotropy Ratio:	1		
Variogram Slope:	1		
Search Parameters			
No Search (use all data):	true		
Data Counts at Validation Points			
Active Results:	5		
Blanked Results:	0		
Attempted Results:	5		
Requested Results:	5		
Univariate Statistics			
	X	Y	Z
Count:	5	5	5
1%-tile:	1111748.439	1264897	-86.92
5%-tile:	1111748.439	1264897	-86.92
10%-tile:	1111748.439	1264897	-86.92
25%-tile:	1111958	1276941.177	-80.7
50%-tile:	1112786.282	1278133.996	-74.75
75%-tile:	1118279.979	1279524.359	-65.97
90%-tile:	1118279.979	1279524.359	-65.97
95%-tile:	1118279.979	1279524.359	-65.97
99%-tile:	1118279.979	1279524.359	-65.97

Lo cerramos sin guardar y listo, automáticamente se crea el archivo de validación que podemos abrir para realizar el cálculo estadístico correspondiente.

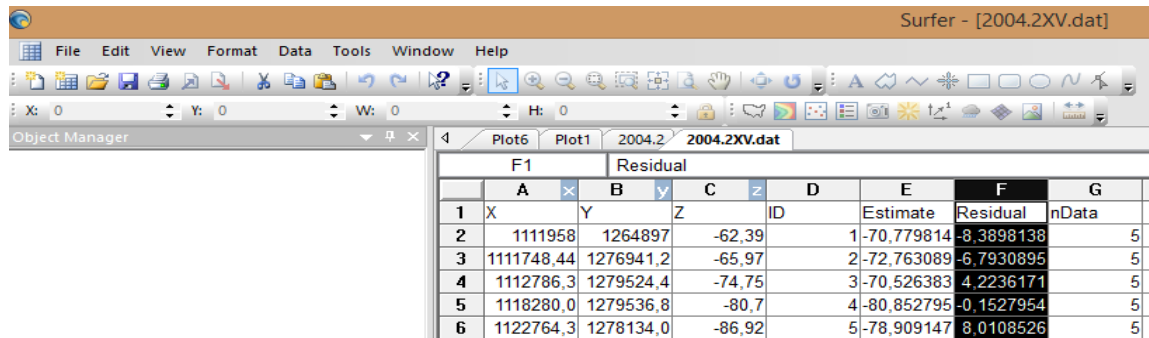
Ahora podemos ir a File seguido de open y abrir el archivo creado. Aparece una ventana donde debemos seleccionar 2004.2.



Clic en abrir y se nos muestra el archivo donde se calculó, entre otras cosas, el residuo entre el valor medido (Z_a) y el calculado (Z_{0a}) para cada uno de los puntos de donde se tienen datos.



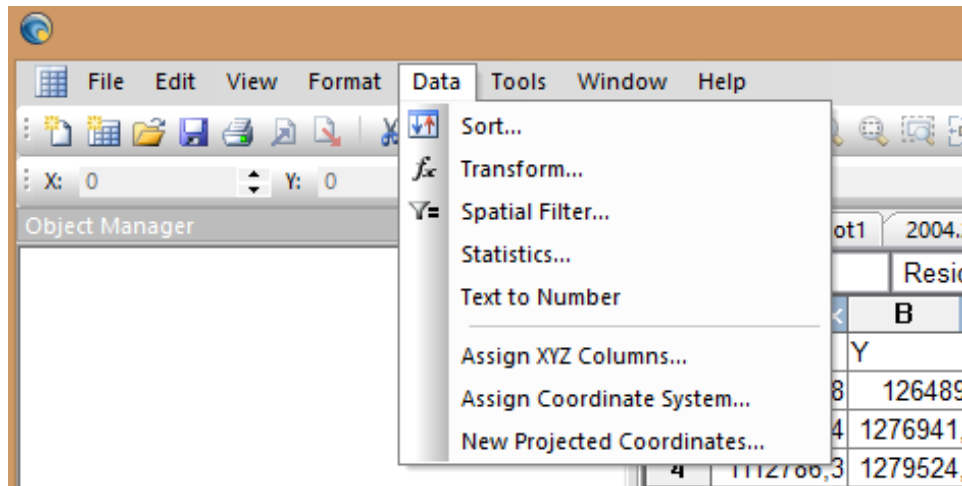
El siguiente paso consiste en seleccionar la columna del Residual.



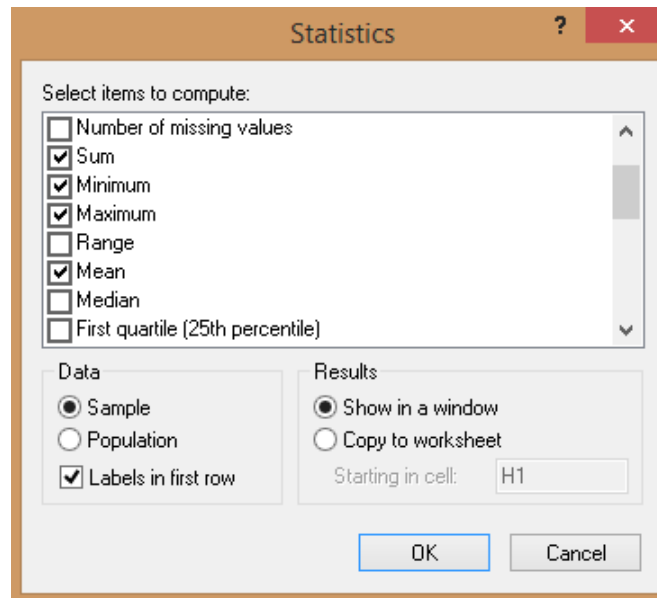
The screenshot shows the Surfer software interface with a data table. The 'Residual' column is highlighted in black. The table contains the following data:

	F1	Residual					
	A	B	C	D	E	F	G
1	X	Y	Z	ID	Estimate	Residual	nData
2	1111958	1264897	-62.39	1	-70.779814	-8.3898138	5
3	1111748,44	1276941,2	-65,97	2	-72,763089	-6,7930895	5
4	1112786,3	1279524,4	-74,75	3	-70,526383	4,2236171	5
5	1118280,0	1279536,8	-80,7	4	-80,852795	-0,1527954	5
6	1122764,3	1278134,0	-86,92	5	-78,909147	8,0108526	5

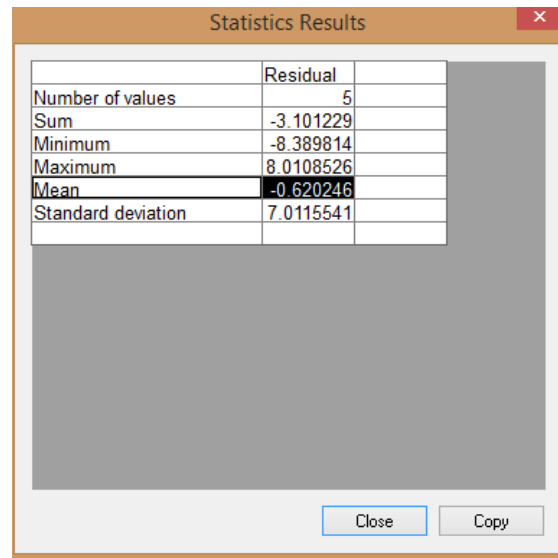
Ahora nos vamos al menú Data y seleccionamos Statistics.



Cuando se abre la ventana de statistics observemos que este seleccionado Mean para que nos arroje el valor de la media



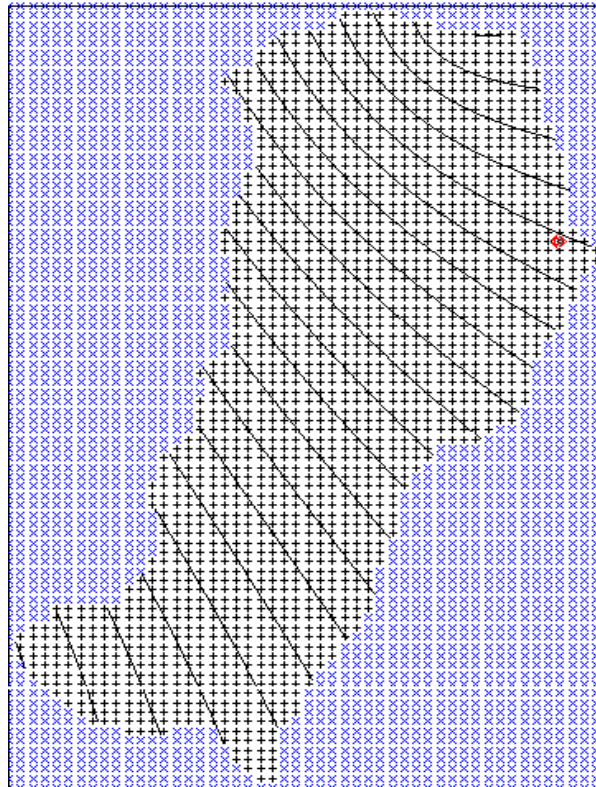
Damos clic en Ok.



Vemos que la media se aproxima a cero, anotamos el valor y repetimos el procedimiento para cada uno de los variogramas calculados y podemos realizar una tabla de comparación de datos. Aquel cuya media esté más próxima a cero es el variograma elegido. Es decir el que utilizaremos para realizar nuestro grid de predicción y de desviación estándar.

Anexo D. Recorte de contornos en Surfer o blanqueo

Una vez construido el archivo bln que actuará como máscara, utilizaremos la función Blank de Surfer para cortar la superficie interpolada. Se debe tener en cuenta que el área interpolada debe ser mayor que el área de recorte, tal como se muestra en la siguiente figura. Si el área de recorte es mayor que la interpolada, se producirá un error.

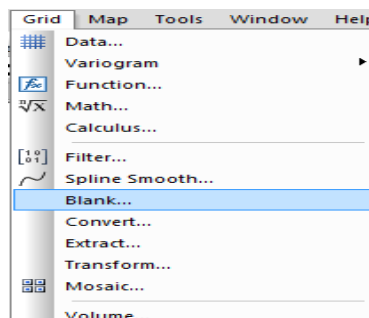


Fuente: Autor

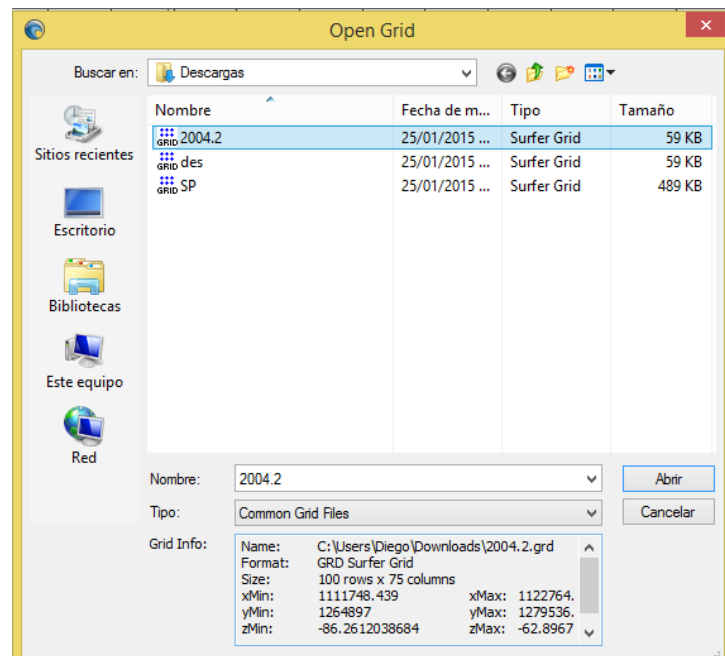
La zona de color azul es la parte interpolada y la negra la zona de corte.

Como insumos necesitamos nuestro archivo de contorno o máscara en formato bln y el GRD de predicciones. El procedimiento es el siguiente.

Vamos al menú Grid seguido de Blank.



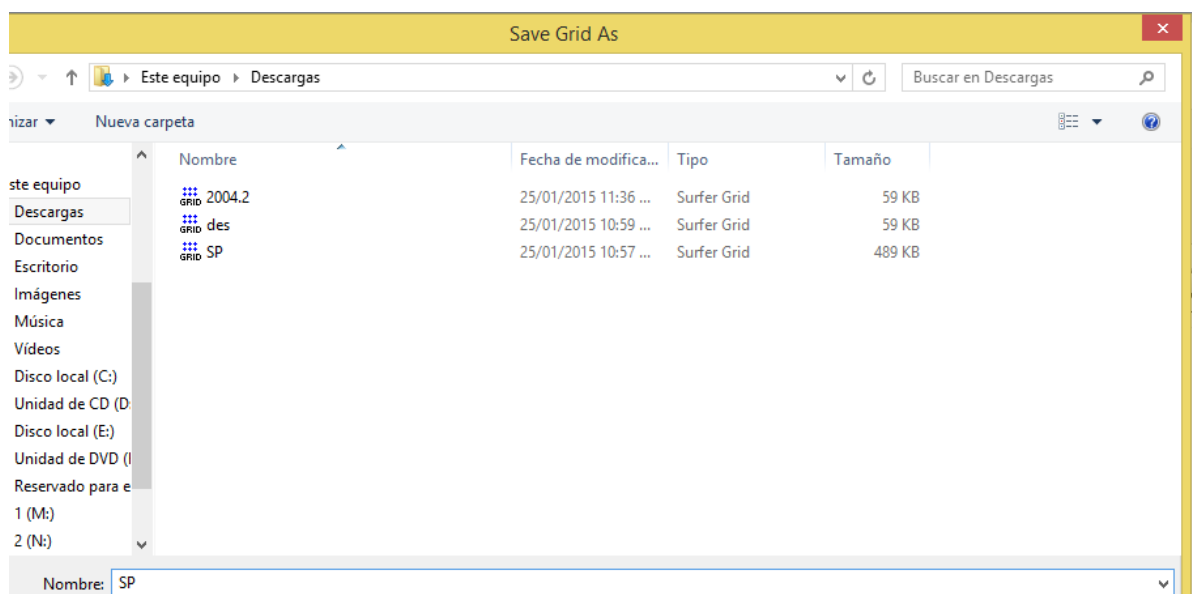
Aparece una primera ventana donde debemos cargar nuestro archivo Grid creado anteriormente con el nombre de 2004.2.



Damos clic en Abrir y se nos abre otra ventana donde debemos cargar nuestro archivo bln, que se denomina área.blm.

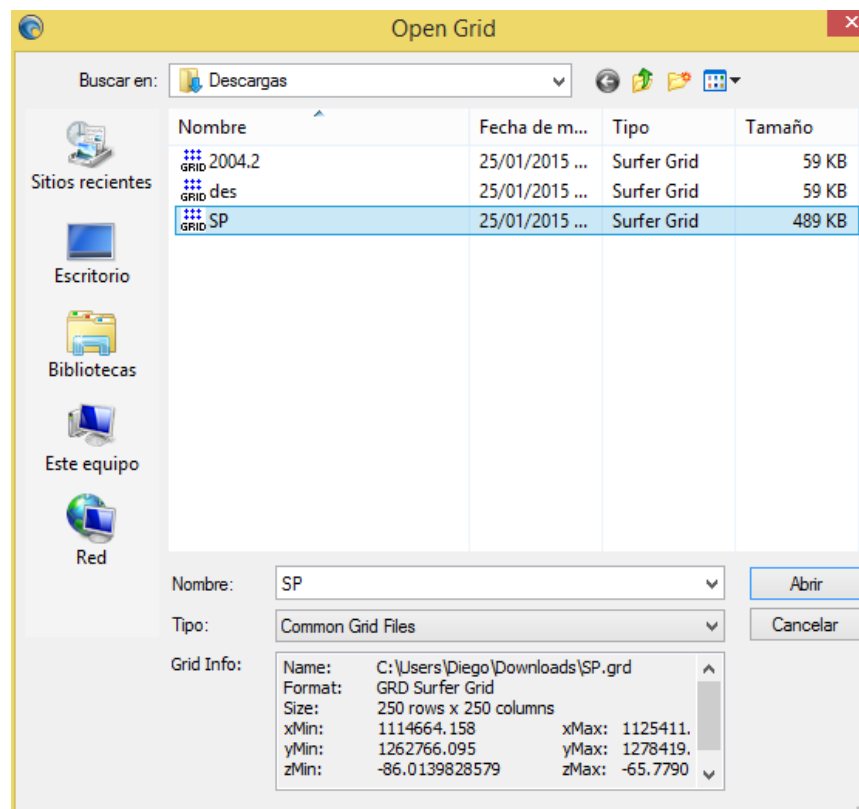
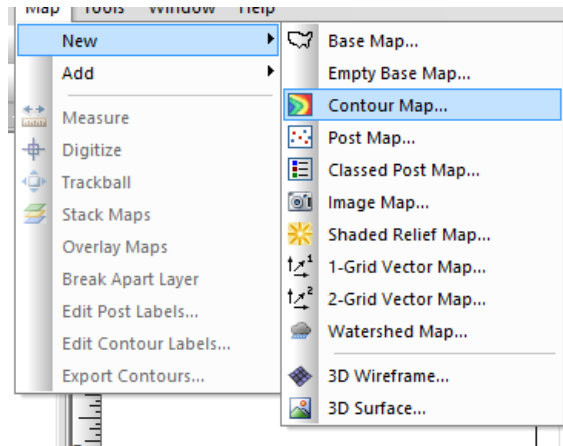
Grafica

Damos nuevamente clic en Abrir, nos aparece una ventana que permite guardar el nuevo grid creado. En este caso con el nombre "ESP".

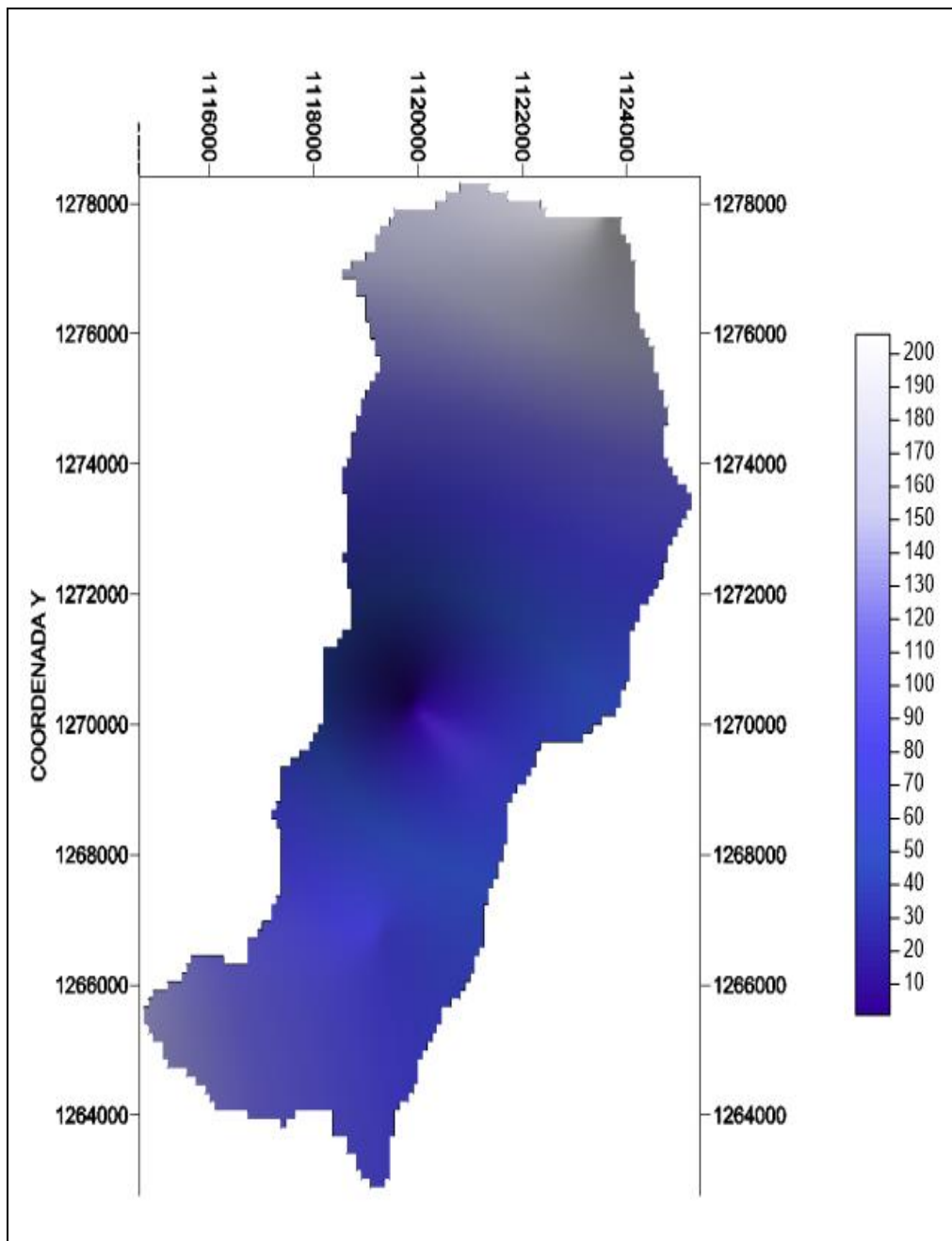


Damos clic en guardar y listo, se ha creado un archivo GRID que contiene la superficie interpolada recortada.

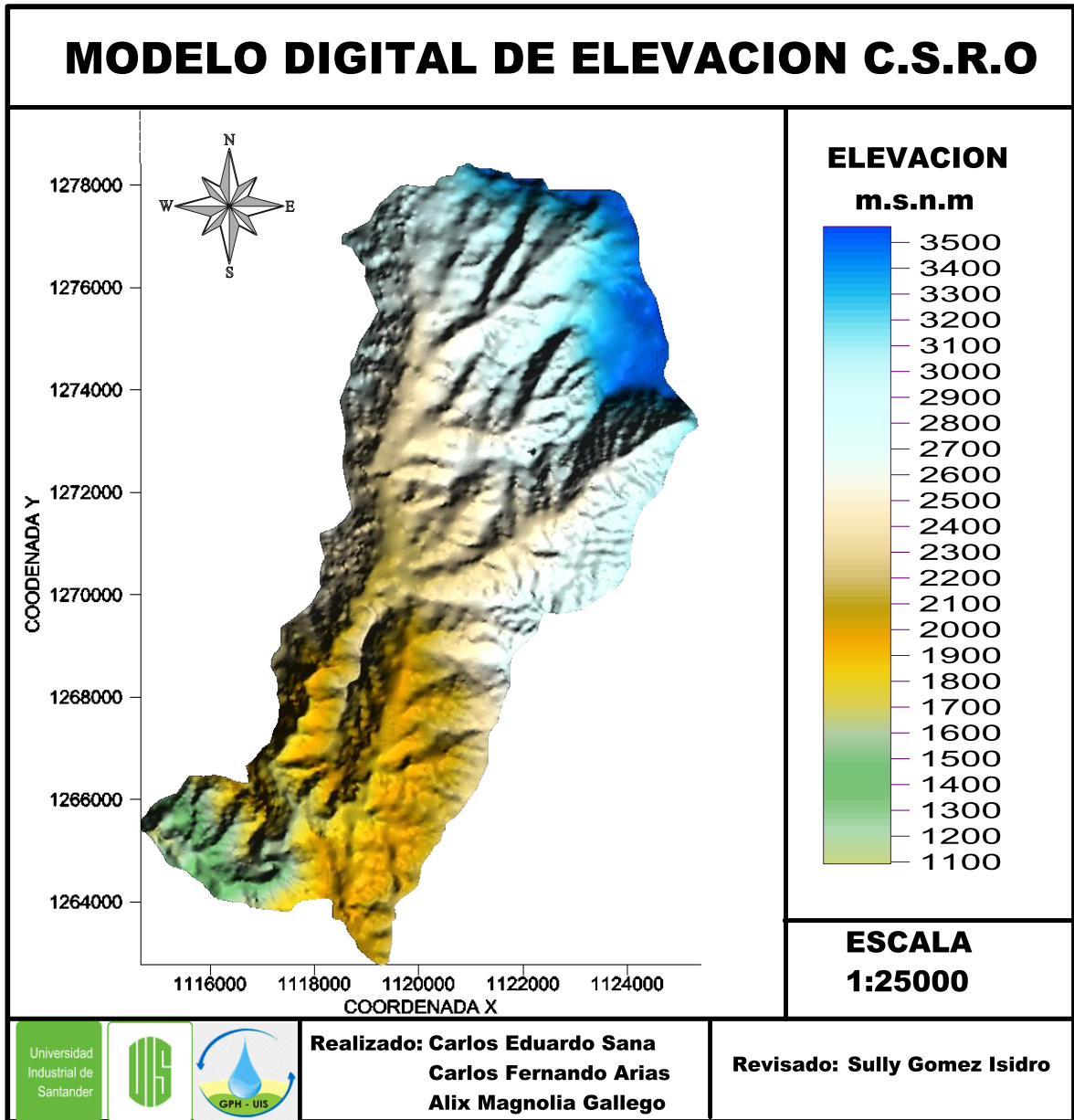
Ahora vamos al menú Map, seguido de Contour Map y damos clic en New Contour Map, buscamos y cargamos el grid creado.



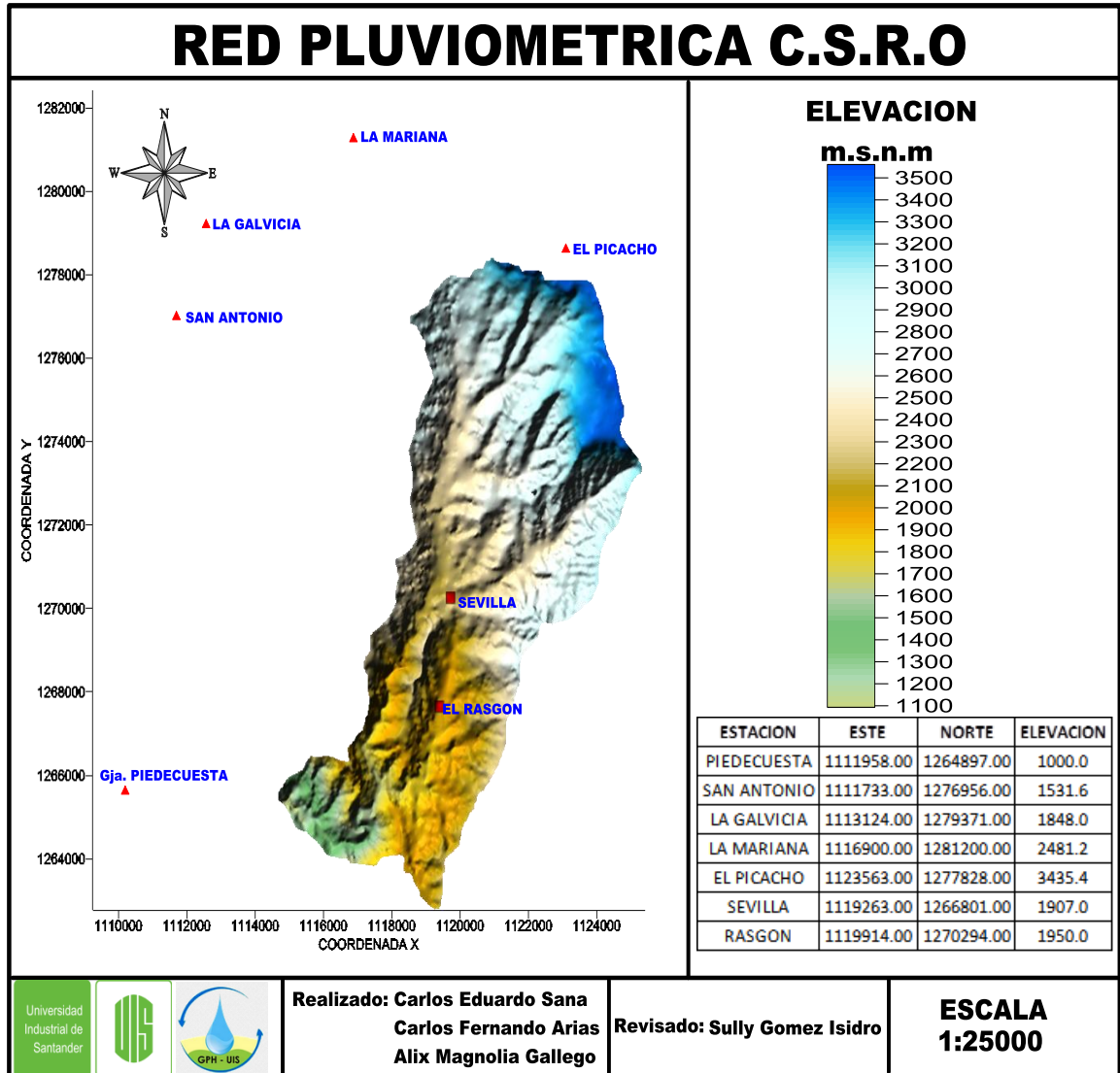
Damos clic en Abrir y... después de cambiar algunas propiedades obtenemos lo siguiente:



- Modelo digital de elevación CSRO.



Anexo E. Ubicación de la red pluviométrica.



Universidad Industrial de Santander



Realizado: Carlos Eduardo Sana
 Carlos Fernando Arias
 Alix Magnolia Gallego

Revisado: Sully Gomez Isidro

ESCALA
1:25000

Anexo F. Datos de Precipitación.

PRECIPITACIÓN								
	ESTACION	ESTE	NORTE	Sep.	Oct.	Nov.	Prom.	ELEVACION
	HUMEDA 2 DE 2004	PIEDECU ESTA	1111958. 00	1264897. 00	122.7	261.9	195.8	193.4666 7
SAN ANTONIO		1111733. 00	1276956. 00	119.1	182.2	211.9	171.0666 7	1531.6
LA GALVICIA		1113124. 00	1279371. 00	175	220	263	219.3333 3	1848.0
LA MARIANA		1116900. 00	1281200. 00	183	183.5	177.8	181.4333 3	2481.2
EL PICACHO		1123563. 00	1277828. 00	272	171	180	207.6666 7	3435.4
SEVILLA		1119263. 00	1266801. 00		41.5	118	79.75	1907.0
RASGON		1119914. 00	1270294. 00				0	1950.0
	ESTACION	ESTE	NORTE	Mar.	Abril	Mayo	Prom.	ELEVACION
HUMEDA 1 DE 2005	PIEDECU ESTA	1111958. 00	1264897. 00	19.3	69.3	242.1	110.2333 3	1000.0
	SAN ANTONIO	1111733. 00	1276956. 00	11.3	97.6	134.5	81.13333 3	1531.6
	LA GALVICIA	1113124. 00	1279371. 00	15	167	191	124.3333 3	1848.0
	LA MARIANA	1116900. 00	1281200. 00		112.5	191.2	151.85	2481.2
	EL PICACHO	1123563. 00	1277828. 00		123	243	183	3435.4
	SEVILLA	1119263. 00	1266801. 00	9.4	154.8	159.3	107.8333 3	1907.0

HUMEDA 2 DE 2005		00	00				3	
	RASGON	1119914.00	1270294.00	18.7	92.8	187.7	99.733333	1950.0
	ESTACION	ESTE	NORTE	Sep.	Oct.	Nov.	Prom.	ELEVACION
	PIEDECU ESTA	1111958.00	1264897.00	132.2	156.4	117.4	135.33333	1000.0
	SAN ANTONIO	1111733.00	1276956.00	175.1	149.8	154.7	159.86667	1531.6
	LA GALVICIA	1113124.00	1279371.00	233	217	204	218	1848.0
	LA MARIANA	1116900.00	1281200.00	108.2	222.4	204.7	178.43333	2481.2
	EL PICACHO	1123563.00	1277828.00	150	200	162	170.66667	3435.4
	SEVILLA	1119263.00	1266801.00	132.6	198.5	191	174.03333	1907.0
	RASGON	1119914.00	1270294.00	173.2	159.6	173.5	168.76667	1950.0
HUMEDA 1 DE 2006	ESTACION	ESTE	NORTE	Mar.	Abril	Mayo	Prom.	ELEVACION
	PIEDECU ESTA	1111958.00	1264897.00	142.6	106.4	200.2	149.73333	1000.0
	SAN ANTONIO	1111733.00	1276956.00	154.7	151.7	176.5	160.96667	1531.6
	LA GALVICIA	1113124.00	1279371.00	162.2	208.9	216.8	195.96667	1848.0
	LA MARIANA	1116900.00	1281200.00	65.4	222.7	201.7	163.26667	2481.2
	EL PICACHO	1123563.00	1277828.00	168	189	261.9	206.3	3435.4

HUMEDA 2 DE 2006	SEVILLA	1119263.00	1266801.00	156.9	187.8	170.9	171.86667	1907.0
	RASGON	1119914.00	1270294.00	253.45	229.2	212.49	231.71333	1950.0
	ESTACION	ESTE	NORTE	Sep.	Oct.	Nov.	Prom.	ELEVACION
	PIEDECU ESTA	1111958.00	1264897.00	125.9	236.9	174.4	179.06667	1000.0
	SANANT ONIO	1111733.00	1276956.00	106.4	146.9	184	145.76667	1531.6
	LAGALVI CIA	1113124.00	1279371.00	113.4	160.9	212	162.1	1848.0
	LAMARIA NA	1116900.00	1281200.00	121.6	129.5	166.6	139.23333	2481.2
	ELPICAC HO	1123563.00	1277828.00	119.7	160.7	75	118.46667	3435.4
	SEVILLA	1119263.00	1266801.00		153		153	1907.0
	RASGON	1119914.00	1270294.00	163.5	148.99	133.2	222.845	1950.0

Datos de isótopos de la precipitación

			18O				2H				
	ESTACION	ESTE	NORTE	Sep	Oct	Nov	Pro	Sep	Oct.	Nov.	Pro
				t.	.	.	m	t.			m
HUMEDA 2 DE 2004	PIEDEECUE STA	1111958	1264897	-	10.83	-	9.47	-	73.64	51.15	62.39
	SAN ANTONIO	1111748.439	1276941.177	-	11.25	-	9.69	-	79.46	52.49	65.97
	LA GALVICIA	1112786.282	1279524.359	-	12.25	-	10.64	-	87.41	62.08	74.75
	LA MARIANA	1118279.979	1279536.798	-	13.84	-	11.81	-	97.83	63.56	80.70
	EL PICACHO	1122764.334	1278133.996	-	14.40	-	12.65	-	101.35	72.48	86.92
		ESTACION	ESTE	NORTE	Mar	Abri	May	Pro	Mar	Abril	May
HUMEDA 1 DE 2005	PIEDEECUE STA	1111958	1264897	-	7.73	12.77	7.36	-	50.59	95.13	49.41
	SAN ANTONIO	1111748.439	1276941.177	-	7.29	12.99	7.59	-	47.66	94.31	48.86
	LA GALVICIA	1112786.282	1279524.359	-	8.34	13.26	8.11	-	52.64	93.13	50.65
	LA MARIANA	1118279.979	1279536.798	-	9.38	13.15	8.87	-	64.65	94.53	58.15

HUMEDA 2 DE 2005

EL PICACHO	1122764.334	1278133.996	-6.50	-12.33	-14.55	-11.13	-38.43	-88.56	-107.96	-78.32
ESTACION	ESTE	NORTE	Sep t.	Oct .	Nov .	Pro m	Sep t.	Oct.	Nov.	Pro m
PIEDECUESTA	1111958	1264897	-6.43	-	-	-6.43	-40.18	-	-	-40.18
SAN ANTONIO	1111748.439	1276941.177	-5.75	-	-	-5.75	-32.09	-	-	-32.09
LA GALVICIA	1112786.282	1279524.359	-6.22	-	-	-6.22	-36.62	-	-	-36.62
LA MARIANA	1118279.979	1279536.798	-6.74	-	-	-6.74	-39.26	-	-	-39.26
EL PICACHO	1122764.334	1278133.996	-	-	-	-	-	-	-	-

HUMEDA 1 DE 2006

ESTACION	ESTE	NORTE	Mar zo	Abri l	May o	Pro m	Mar zo	Abril	May o	Pro m
PIEDECUESTA	1111958	1264897	-	-4.78	-18.66	-11.72	-	-29.55	-139.20	-84.37
SAN ANTONIO	1111748.439	1276941.177	-2.69	-15.49	-19.61	-12.60	-10.09	-115.55	-146.58	-90.74
LA GALVICIA	1112786.282	1279524.359	-	-3.54	-7.47	-5.50	-	-15.11	-46.85	-30.98
LA MARIANA	1118279.979	1279536.798	-4.81	-7.86	-16.49	-9.72	-27.82	-51.52	-119.05	-66.13
EL	1122764.	1278133.	-	-	-	-	-	-	-	-

HUMEDA 2 DE 2006	PICACHO	334	996	7.05	9.0	21.6	12.	41.3	58.9	157.	85.
					0	4	57	6	2	31	86
	ESTACION	ESTE	NORTE	Sep	Oct	Nov	Pro	Sep	Oct.	Nov.	Pro
				t.	.	.	m	t.			m
	PIEDECUE	1111958	1264897								
	STA										
	SAN	1111748.	1276941.	-	-	-	-	-	-	-	-
	ANTONIO	439	177	8.9	8.9	59.7	59.	0	70		
				1	1						
	LA	1112786.	1279524.	-	-	-	-	-	-	-	-
GALVICIA	282	359	9.0	9.0	60.0	60.	0	8	08		
			0	0							
LA	1118279.	1279536.	-	-	-	-	-	-	-	-	
MARIANA	979	798	9.7	9.7	67.0	67.	9	8	08		
			9	9							
EL	1122764.	1278133.	-	-	-	-	-	-	-	-	
PICACHO	334	996	11.	11.	79.3	79.	73	6	36		
			73	73							

Anexo G. Datos de isótopos de la escorrentía total.

Datos Conquistador						
Fecha	O18	H2	Caudal	Q*18O	Q*2H	
11-ene.-05	-9.24	-62.4	0.912	-8.42688	-56.8632	
21-ene.-05	-7.55	-49.0	0.912	-6.8856	-44.6424	
27-ene.-05	-9.11	-60.8	0.912	-8.30376	-55.404	
6-feb.-05	-9.13	-61.1	0.912	-8.32656	-55.7232	
13-feb.-05	-8.84	-58.3	0.912	-8.06208	-53.1696	

16-feb.- 05	-7.60	-49.1	0.912	-6.92664	-44.7792
22-feb.- 05	-8.90	-58.4	1.183	- 10.52279	- 69.02805
4-mar.- 05	-8.91	-59.0	0.912	-8.12136	-53.808
13-mar.- 05	-8.94	-59.3	0.912	-8.15328	-54.0816
19-mar.- 05	-8.90	-58.9	0.912	-8.1168	-53.6712
24-mar.- 05	-8.93	-59.5	0.885	- 7.898625	-52.6575
30-mar.- 05	-8.80	-57.5	0.859	-7.5592	- 49.34955
10-abr.- 05	-8.86	-59.1	0.912	-8.07576	-53.8536
16-abr.- 05	-9.25	-62.2	0.912	-8.436	-56.6808
21-abr.- 05	-9.20	-61.7	0.912	-8.38584	-56.2704
30-abr.- 05	-9.01	-60.7	0.912	-8.21256	-55.3128
2-may.- 05	-8.98	-59.9	0.912	-8.18976	-54.6288
15-may.- 05	- 10.09	-67.8	0.912	-9.19752	-61.8336
16-may.- 05	- 10.10	-68.8	0.912	-9.20664	-62.7456
26-may.- 05	-9.66	-65.4	0.98	-9.4668	-64.043
3-jun.-05	-9.47	-63.4	1.183	-11.1971	-

					74.94305
12-jun.-05	-10.45	-72.9	0.912	-9.52584	-66.4392
18-jun.-05	-9.55	-65.6	0.912	-8.7096	-59.8272
21-jun.-05	-9.62	-65.5	15.39	-147.9749	-1007.276
2-jul.-05	-9.46	-64.0	0.912	-8.62296	-58.368
6-jul.-05	-9.33	-63.1	0.912	-8.5044	-57.5016
16-jul.-05	-9.59	-64.6	0.912	-8.74152	-58.9152
18-jul.-05	-9.48	-63.5	0.912	-8.6412	-57.912
26-jul.-05	-9.40	-63.0	1.048	-9.84596	-65.9716
11-ago.-05	-9.25	-62.6	1.048	-9.68876	-65.5524
12-ago.-05	-9.27	-64.2	1.048	-9.71496	-67.2292
19-ago.-05	-9.56	-66.6	1.048	-10.01888	-69.7968
27-ago.-05	-9.22	-64.6	0	0	0
1-sep.-05	-9.25	-64.0	1.048	-9.68876	-67.072
10-sep.-05	-9.12	-62.7	0.98	-8.9376	-61.397
13-sep.-05	-9.04	-61.8	0.98	-8.8592	-60.515
19-sep.-05	-8.95	-61.3	1.048	-9.37436	-64.19
26-sep.-05	-8.89	-59.5	1.115	-9.906775	-66.28675

4-oct.-05	-9.05	-61.4	1.183	-	10.70615	-72.6362
16-oct.-05	-9.42	-63.6	0.912	-8.59104	-	-57.9576
17-oct.-05	-9.54	-66.0	0.912	-8.69592	-	-60.192
24-oct.-05	-9.17	-61.5	0.912	-8.36304	-	-56.0424
3-nov.-05	-9.30	-62.5	1.677	-15.5961	-	104.7287
19-nov.-05	-9.48	-63.9	2.459	-	23.31132	-
26-nov.-05	-9.60	-65.3	2.342	-	22.47149	-
2-dic.-05	-9.28	-62.9	0.927	-	8.597925	-
6-dic.-05	-9.19	-62.0	0.806	-7.40714	-	-49.972
12-dic.-05	-9.17	-62.1	0.806	-7.38699	-	-50.0123
19-dic.-05	-9.16	-62.5	0.806	-7.37893	-	-50.3347
26-dic.-05	-9.06	-61.4	0.806	-7.29833	-	-49.4481
06-ene.-06	-9.11	-62.7	0.806	-7.34266	-	-50.5362
13-ene.-06	-9.19	-63.2	0.806	-7.40311	-	-50.9392
21-ene.-06	-9.05	-61.8	0.927	-8.38935	-	57.24225
29-ene.-06	-8.96	-61.0	0.927	-	8.301285	-56.547

31-ene.- 06	-8.91	-60.6	1.048	-9.33768	-63.4564
11-feb.- 06	-8.95	-60.9	1.048	-9.37436	-63.7708
19-feb.- 06	-8.99	-63.6	0.806	-7.24594	-51.2616
23-feb.- 06	-8.91	-62.4	0.806	-7.18146	-50.2541
02-mar.- 06	-8.57	-57.5	0.086	-0.73659	-4.9407
11-mar.- 06	-8.83	-62.2	1.048	-9.25384	-65.1856
17-mar.- 06	-8.86	-59.1	0.927	-8.21322	- 54.73935
22-mar.- 06	-8.58	-57.8	0.927	-7.95366	- 53.53425
02-abr.- 06	-8.82	-60.1	1.048	-9.23812	-62.9324
04-abr.- 06	-8.59	-56.9	0.806	-6.92354	-45.8614
11-abr.- 06	-8.60	-57.7	1.507	- 12.95267	-86.9539
23-abr.- 06	-8.85	-59.3	1.048	-9.2748	-62.1464
25-abr.- 06	-8.54	-56.2	1.048	-8.94992	-58.8452
01-may.- 06	-7.25	- 48.83	1.048	-7.598	- 51.17384
14-may.- 06	-8.88	- 61.15	1.887	- 16.75656	- 115.3901
21-may.-	-	-	1.887	-	-136.449

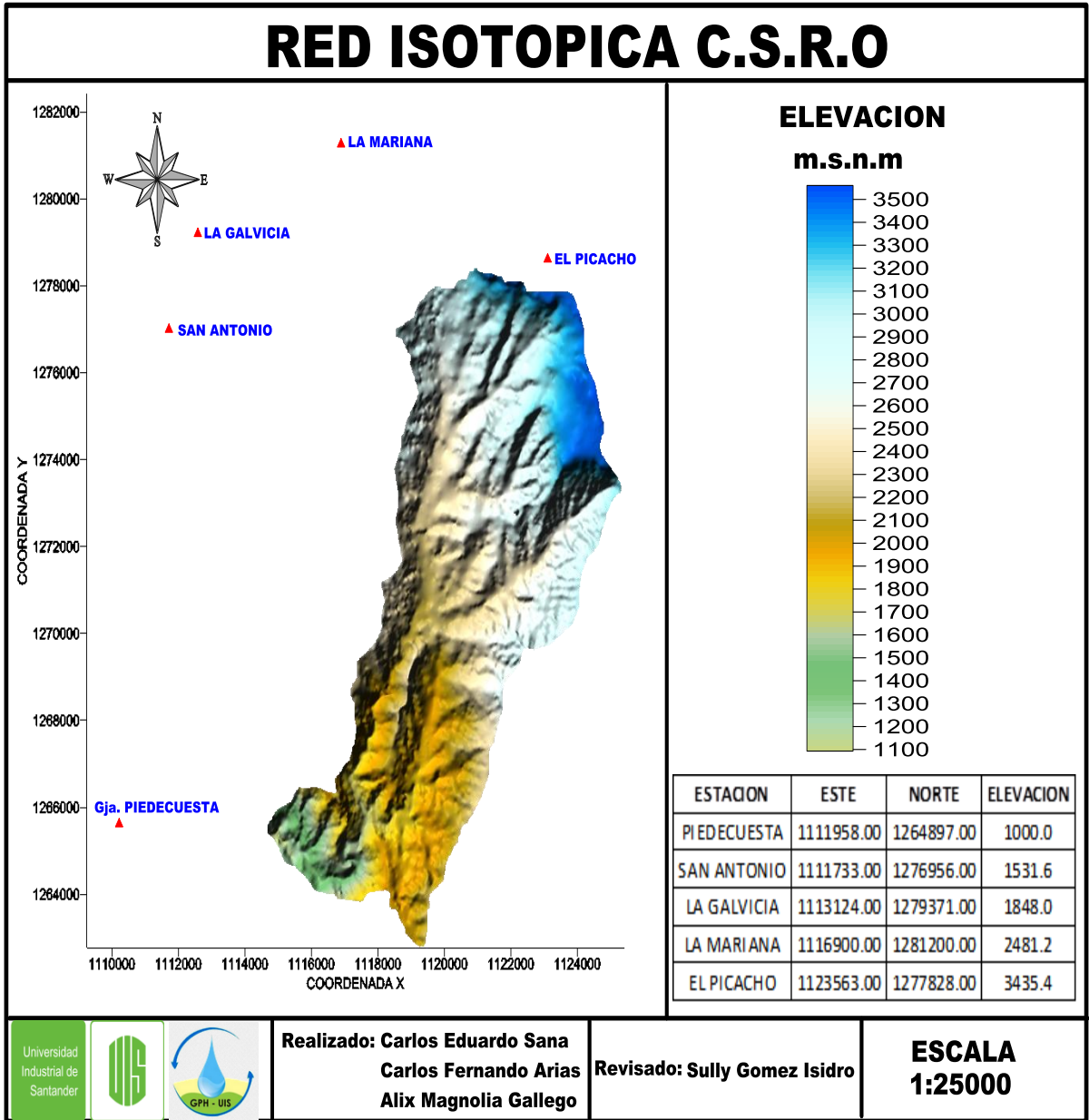
06	10.49	72.31		19.79463	
24-may.- 06	- 10.27	- 73.19	1.467	- 15.06609	- 107.3697
29-may.- 06	-9.48	- 66.66	1.467	- 13.90716	- 97.79022
07-jun.- 06	-7.41	- 51.33	1.887	- 13.98267	- 96.85971
17-jun.- 06	-9.54	- 68.94	1.887	- 18.00198	- 130.0898
24-jun.- 06	-9.34	- 65.27	1.887	- 17.62458	- 123.1645
01-jul.-06	- 12.09	- 85.07	1.507	- 18.21963	- 128.2005
03-jul.-06	-9.64	- 68.11	1.507	- 14.52748	- 102.6418
13-jul.-06	-9.47	- 64.35	1.507	- 14.27129	- 96.97545
22-jul.-06	-9.63	- 64.81	1.507	- 14.51241	- 97.66867
26-jul.-06	- 10.07	- 71.43	1.507	- 15.17549	- -107.645
31-jul.-06	-9.86	- 68.67	1.048	- 10.33328	- 71.96616
16-sep.- 06	-9.32	- 66.11	0.994	-9.26408	- 65.71334
24-sep.- 06	-9.28	- 64.25	2.587	- 24.00736	- 166.2148
02-oct.- 06	-9.15	- 63.54	3.18	-29.097	- 202.0572
09-oct.- 06	-9.61	- 66.41	3.18	-30.5598	- 211.1838

21-oct.-06	-9.58	-	66.17	4.089	-	-	39.17262	270.5691
29-oct.-06	-9.27	-	64.67	4.998	-	-	46.33146	323.2207
04-nov.-06	-9.76	-	67.31	3.18	-31.0368	-	-	214.0458
10-nov.-06	-9.12	-	62.05	2.587	-	-	23.59344	160.5234
13-nov.-06	-8.76	-	58.73	2.587	-	-	22.66212	151.9345
21-nov.-06	-9.28	-	64.36	2.587	-	-	24.00736	166.4993
02-dic.-06	-8.8	-	58.62	2.109	-18.5592	-	-	123.6296
09-dic.-06	-9.22	-	62.88	1.887	-	-	17.39814	118.6546
11-dic.-06	-8.78	-	63.24	1.887	-	-	16.56786	119.3339
31-dic.-06	-8.81	-	63.18	2.587	-	-	22.79147	163.4467
9-ene.-07	-8.29	-	60.35	0.605	-5.01545	-	-	36.51175
2-feb.-07	-9.03	-	61.18	1.183	-	-	10.68249	72.37594
9-feb.-07	-	10.13	71.18	0.912	-9.23856	-	-	64.91616
1-mar.-07	-8.36	-	62.01	0.806	-6.73816	-	-	49.98006
11-mar.-07	-8.33	-	60.99	0.806	-6.71398	-	-	49.15794
12-mar.-	-	-	-	0.806	-8.30986	-	-	-

07	10.31	74.52			60.06312
20-mar.-07	-9.28	-64.77	0.806	-7.47968	-52.20462
28-mar.-07	-9.05	-64.03	1.345	-12.17225	-86.12035
10-jun.-07	-7.47	-49.42	0.699	-5.22153	-34.54458
11-jun.-07	-8.35	-56.52	0.699	-5.83665	-39.50748
23-jun.-07	-8.06	-57.32	0.443	-3.57058	-25.39276
8-sep.-07	-9.82	-64.64	0.652	-6.40264	-42.14528
11-sep.-07	-9.42	-65.69	0.652	-6.14184	-42.82988
21-sep.-07	-9.45	-65.02	0.699	-6.60555	-45.44898
23-sep.-07	-9.58	-64.23	0.859	-8.22922	-55.17357
24-oct.-07	-8.44	-55.71	1.183	-9.98452	-65.90493
31-oct.-07	-8.36	-55.44	0.98	-8.1928	-54.3312
4-nov.-07	-9.88	-66.94	0.98	-9.6824	-65.6012
8-nov.-07	-9.21	-60.91	0.98	-9.0258	-59.6918
17-nov.-07	-9.53	-64.9	0.706	-6.72818	-45.8194
20-nov.-07	-9.4	-63.78	0.706	-6.6364	-45.02868

1-dic.-07	-8.92	- 60.57	0.605	-5.3966	- 36.64485
8-dic.-07	-8.79	- 60.27	0.624	-5.48496	- 37.60848
11-dic.- 07	-7.89	- 55.49	0.624	-4.92336	- 34.62576
17-dic.- 07	-9.32	- 62.92	0.752	-7.00864	- 47.31584
24-dic.- 07	-9.28	- 61.55	0.752	-6.97856	-46.2856

Anexo H. Ubicación de la red isotópica de lluvias.



Anexo I. Caudales diarios en la estación el Conquistador Alto

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES												
VALORES MEDIOS DIARIOS DE CAUDALES (M3/Seg)										SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL		
FECHA DE PROCESO : 2014/10/07			ANO 2004							ESTACION : 23197430 CONQUISTADOR EL		
LATITUD	0659 N	TIPO EST	LM	DEPTO			SANTANDER		FECHA-INSTALACION 1978-JUL			
LONGITUD	7302 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO			PIEDRECUESTA		FECHA-SUSPENSION			
ELEVACION	1000 m.s.n.m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE			DE ORO					
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
01	1.336	1.048				1.336	1.048	1.048	1.834		2.331	2.098
02	1.048	2.331			2.331	1.336	1.048	1.336	1.336	2.459	2.587	2.098
03	1.048	1.336	2.331	2.331	2.331		1.048	1.834	2.459	1.336	2.331	
04	2.331	1.048	1.336		1.336		1.336	1.048	2.331		2.331	
05	1.192	1.048	1.336	1.336	1.336	1.834	1.048	2.459	1.336	2.459		
06	1.048	1.048		1.048		1.336	1.834	2.331	1.336	2.331		2.331
07	2.047	2.331	2.331	1.048	2.331	1.336	2.459				2.331	2.098
08		1.048	1.336	1.048	2.331	1.336	1.336	1.834		1.962		2.098
09	1.834	1.014	1.336	1.336	1.336			2.331		1.336		
10	1.336	1.048		2.459	1.336	1.336	1.048	1.192		2.331		2.098
11	1.336	1.336	2.331		1.336	1.336	1.048	1.192	2.587	1.962		
12	2.237	1.336	2.331			1.048	1.048	1.834	1.834	1.336	2.331	
13	1.336		1.336			2.459	.806	1.834		2.331	2.331	1.336
14	1.336		2.331			1.336	.927	1.336	1.962	2.587		2.331
15	1.336	2.331	1.336			2.331	1.048	1.834	2.459	1.336		2.098
16		1.336	1.336			2.587	1.048	2.331		1.336		2.098
17	1.919	1.336					1.336			2.331		
18	1.336	1.048			1.834		1.336			2.331		
19		2.587	2.331		1.336	2.331	1.048	2.331				2.098
20	2.331	1.834	1.336		1.336	1.336	1.048	2.587		2.331		1.336
21		1.048				1.336	1.336		2.331			1.336
22						1.251	2.587				2.331	1.183
23		1.336				1.192	1.336					1.183
24	1.834	1.048	2.331		2.331	1.048	1.048					0.912
25	1.336	1.048			1.834	1.048	1.336	2.459	2.331	2.331		1.260
26	1.048	1.048		2.331	1.336	1.192			2.459	2.331	2.331	1.048
27	1.048				1.336	1.192	1.336	1.192				0.912
28	1.336	1.834			1.336	1.048		2.331				0.912
29	1.048	1.192	2.331		2.331	1.336	2.331	1.336			2.098	1.183
30	1.048		1.336		1.336	1.048	1.192	2.459		2.587	2.098	1.183
31	1.048				1.336		1.192	1.834				0.912
MEDIA	1.445	1.400	1.804		1.684	1.452	1.307	1.839		2.071		1.571
MAXIMA ABSOLUTA	2.587	2.587	2.331		2.331	2.587	2.587	2.587		2.587		2.331
MINIMA MEDIA	1.048	1.014	1.336		1.336	1.048	0.806	1.048		1.336		0.912
*** VALORES ANUALES ***												
MEDIA					1.619							
MAXIMA ABSOLUTA					2.587							

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION
NACIONAL AMBIENTAL

VALORES MEDIOS DIARIOS DE CAUDALES (M3/Seg)												ESTACION : 23197430 CONQUISTADOR EL	
ANO 2005												FECHA-INSTALACION 1978-JUL	
FECHA DE PROCESO : 2014/10/07												FECHA-SUSPENSION	
LATITUD	TIPO EST			LM	DEPTO		SANTANDER		FECHA-INSTALACION			1978-JUL	
LONGITUD	ENTIDAD			01 IDEAM	MUNICIPIO		PIEDECUESTA		FECHA-SUSPENSION				
ELEVACION	REGIONAL			08 SANTANDERES	CORRIENTE		DE ORO						

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	*****
01	2.098	2.098	2.098	1.115	1.048	1.183	1.505	1.452	1.048	1.641	2.843	2.237	
02	2.470	2.098		2.098	0.912	1.183	0.912	1.727	2.098			1.887	
03	1.183	2.098	0.912	0.912	1.183	0.912			1.183	2.098	1.677	2.470	
04	0.912	1.183	0.912	0.912	1.183	1.183	2.470	1.483	1.048	1.183	1.887	1.887	
05	2.098	0.912	1.183	1.641		1.757	1.183	1.336		1.183	2.342	0.927	
06	2.098	0.912	2.098	1.183		2.331		0.912		2.843		0.806	
07	0.912	1.183	0.912	1.115				1.641	2.587	2.098	2.715	1.887	
08	0.912	2.098		2.098	2.098	2.098		1.336	2.098	1.183	1.887	1.048	
09	0.912	2.331	2.098	1.183	1.183			2.098	1.183	2.470		0.806	
10	1.505	2.098	0.912	0.912	2.098	1.641		1.048	0.980	2.098		1.115	
11	0.912	2.098	1.183	1.183	1.183	1.183	2.470	2.214	1.183			0.927	
12	1.183	0.912	1.183	0.912	1.183	1.183		0.912	1.183	2.587	2.587	0.806	
13	2.214	0.912	0.912	0.912	1.183		2.470		1.048	2.098	2.587	0.806	
14	1.183		0.912	1.183	2.470	2.331		1.887	1.641			1.467	
15			2.098	2.098	0.912	1.183	1.993	1.887	1.048	2.098	2.715	0.806	
16	2.331	2.098	1.183	0.912	1.183	2.098	1.183		1.183	1.183		0.806	
17			1.183	1.183	2.098	1.048	1.260		2.843	0.912		1.048	
18	2.098		0.912	1.183		0.912	0.912	2.098	1.641	0.912		0.806	
19	1.183		0.912	0.912	2.214		1.183	1.048	1.115		2.459	0.806	
20	1.183		1.048	0.912	2.331		1.887	1.183	2.214		2.587	0.927	
21	1.183	1.641	0.912	0.912	2.331	1.539	1.183	2.098	1.115	2.470		0.806	
22	0.912	1.183	0.912	2.098	2.098		1.887	2.587		2.098		0.806	
23	0.912	2.331	0.912	1.757	1.507		2.098	1.183	2.098	1.260		1.048	
24	1.048		0.885				1.183	1.677	2.587	1.183		0.927	
25	0.912		0.912	2.098			0.912	1.336	2.098			1.507	
26	0.912		0.912	1.183	0.980		0.912	2.098	1.115	2.098	2.587	0.806	
27	1.757	2.098	1.048	1.183	1.183	1.014	1.048	1.048	2.098	2.470		1.115	
28	1.183		1.641	0.912	2.331		0.912		1.183		2.342	1.048	
29			0.980	0.912	1.183	1.014	1.048	1.887	2.214		2.342	0.927	
30			0.859	0.912	1.183	0.912	0.980	1.294	2.098		1.993	0.806	
31	0.912		0.912		1.183		1.048	1.183		2.342		0.873	
MEDIA	1.375	1.682	1.156	1.260	1.538	1.406	1.419	1.564	1.627	1.841	2.370	1.127	
MAXIMA ABSOLUTA	2.843	2.331	2.098	2.331	2.843	2.331	2.843	2.843	2.843	2.843	2.843	2.843	
MINIMA MEDIA	0.912	0.912	0.859	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	0.980	0.912	1.677	0.806	
*** VALORES ANUALES ***													
MEDIA 1.530													
MAXIMA ABSOLUTA 2.843													
MINIMA MEDIA 0.806													

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION
NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/10/07		VALORES MEDIOS DIARIOS DE CAUDALES (M3/Seg)						ESTACION : 23197430 CONQUISTADOR EL					
		ANO 2007						CONQUISTADOR EL					
LATITUD	0659 N	TIPO EST	LM	DEPTO	SANTANDER	FECHA-INSTALACION	1978-JUL						
LONGITUD	7302 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	PIEDECUUESTA	FECHA-SUSPENSION							
ELEVACION	1000 m.s.n.m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE	DE ORO								
DIA	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *	
01	0.806	2.587	1.507	0.806	2.587	0.699	0.752	0.383	1.115	0.806	0.980	0.806	
02	0.912	1.507	0.912	1.183	1.507	0.699	0.699	0.383	1.430	0.912	1.115	0.699	
03	0.605	1.507	0.806	1.183	1.507	0.699	0.565	0.484	1.345	0.859	1.183	0.699	
04	0.605	1.183	0.806	0.806	1.183	0.806	0.652	0.443	1.183	0.752	1.183	0.752	
05	0.605	1.345	0.806	0.605	1.345	0.806	0.699	0.413	1.115	0.752	1.048	0.652	
06	1.507	1.507	1.183	2.587	1.507	0.685	0.605	0.443	0.980	0.859	0.980	0.605	
07	2.587	1.507	1.507	2.047	2.098	0.806	0.605	0.443	0.912	0.806	1.115	0.652	
08	2.047	2.098	1.345	2.512	1.507	0.980	0.699	0.383	0.912	0.859	1.183	0.652	
09	1.183	1.507	0.806	2.047	1.507	0.980	0.806	0.413	0.806	0.912	1.048	0.752	
10	1.183	1.507	0.806	1.183	1.183	0.980	0.699	0.443	0.912	0.980	1.048	0.699	
11	0.806	1.183	0.994	1.183	1.183	0.806	0.484	0.443	0.752	0.859	0.912	0.806	
12	0.605	1.048	2.342	1.507	1.507	0.699	0.565	0.443	0.699	1.183	1.048	0.624	
13	0.806	0.912	1.507	1.183	1.507	0.699	0.544	0.383	0.806	1.183	0.912	0.859	
14	0.605	1.507	1.156	1.183	1.183	0.565	0.565	0.524	0.652	1.507	0.912	0.806	
15	0.605	0.912	0.806	0.605	1.183	0.605	0.524	0.443	0.699	1.183	1.048	0.752	
16	3.390	0.806	0.806	0.605	1.183	0.605	0.443	0.383	0.699	0.912	0.912	0.752	
17	3.349	0.806	1.156	0.806	0.685	0.699	0.524	0.413	1.183	0.912	0.912	0.806	
18	2.587	0.859	1.452	1.507	0.738	0.699	0.585	0.443	1.183	1.183	0.859	0.859	
19	2.047	1.183	1.802	1.507	0.827	0.699	0.565	0.612	1.115	2.587	0.806	0.912	
20	1.183	0.806	1.507	1.183	0.907	0.806	0.524	0.699	0.912	1.507	0.706	0.980	
21	2.013	0.806	1.802	0.912	1.311	0.912	0.524	0.699	0.980	1.345	0.706	0.859	
22	3.052	1.345	1.507	0.912	1.183	0.912	0.413	0.827	0.912	1.345	0.806	1.183	
23	2.843	1.183	1.507	0.806	1.345	0.806	0.443	1.048	0.912	1.183	0.912	1.507	
24	3.855	0.994	3.180	1.183	0.859	0.699	0.443	0.912	0.859	1.183	0.912	1.183	
25	2.587	0.806	2.047	1.183		0.565	0.443	0.912	1.048	1.183	0.912	0.912	
26	2.587	0.806	3.518	1.183	1.209	0.443	0.383	1.885	1.048	1.421	0.806	0.912	
27	1.507	1.802	2.587	1.507	1.082	0.565	0.383	2.331	1.677	1.677	0.806	0.806	
28	1.507	0.912	1.345	1.345	0.706	0.565	0.383	2.098	0.912	1.887	0.699	0.752	
29	2.587		0.806	0.806	0.752	0.565	0.443	2.098	0.912	2.331	0.699	0.699	
30	1.507		0.806	0.806	0.806	0.699	0.413	1.677	0.806	2.098	0.699	0.699	
31	1.507		0.994		0.907		0.383	1.183		1.677		0.699	
MEDIA	1.728	1.248	1.423	1.229	1.233	0.725	0.541	0.796	0.983	1.253	0.929	0.817	
MAXIMA ABSOLUTA	4.193	2.587	3.518	3.518	2.587	1.048	0.806	2.587	1.677	2.587	1.183	1.507	
MINIMA MEDIA	0.605	0.806	0.806	0.605	0.685	0.443	0.383	0.383	0.652	0.752	0.699	0.605	
*** VALORES ANUALES ***													
MEDIA 1.075													
MAXIMA ABSOLUTA 4.193													
MINIMA MEDIA 0.383													

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION
NACIONAL AMBIENTAL

VALORES MEDIOS DIARIOS DE CAUDALES (M3/Seg)
ANO 2008
FECHA DE PROCESO : 2014/10/07
ESTACION : 23197430 CONQUISTADOR EL
LATITUD 0659 N TIPO EST LM DEPTO SANTANDER FECHA-INSTALACION 1978-JUL
LONGITUD 7302 W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO PIEDECUESTA FECHA-SUSPENSION
ELEVACION 1000 m.s.n.m REGIONAL 08 SANTANDERES CORRIENTE DE ORO

DIA ENERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE *

01	0.605	0.699	0.322	0.605	0.383	2.459	1.507	1.183	0.565	0.612	0.859	0.806
02	0.565	0.605	0.322	0.652	0.352	3.262	1.507	1.183	0.752	0.524	0.806	0.806
03	0.443	0.605	0.322	0.605	0.322	2.459	1.183	1.345	0.994	0.565	0.806	1.183
04	0.605	0.699	0.322	0.524	0.322	2.331	1.183	1.183	0.652	0.605	0.806	0.759
05	0.605	0.652	0.352	0.524	0.352	2.331	1.507	0.813	0.752	0.605	0.752	0.652
06	0.605	0.605	0.322	0.524	0.322	2.898	1.507	0.413	0.699	0.827	0.699	0.752
07	0.443	0.565	0.322	0.565	0.322	2.898	1.507	0.443	0.652	0.759	0.752	0.806
08	0.443	0.565	0.383	0.565	0.383	0.912	1.183	0.443	0.652	0.699	0.806	0.806
09	0.443	0.605	0.352	0.605	0.322	0.912	1.183	0.352	0.605	0.699	0.699	0.752
10	0.443	0.652	0.322	0.652	0.322	0.912	1.115	0.413	0.571	1.048	0.699	0.699
11	0.524	0.605	0.383	0.652	0.322	0.912	1.183	0.524	0.605	1.183	0.699	0.699
12	0.443	0.652	0.524	0.605	0.352	0.859	1.183	0.413	0.652	1.183	0.806	0.699
13	0.605	0.605	0.524	0.605	0.383	0.806	1.183	0.352	0.605	4.027	0.912	0.652
14	0.605	0.524	0.806	0.524	0.322	0.806	1.183	0.383	0.605	1.507	0.912	0.652
15	0.605	0.524	0.859	0.524	0.322	0.980	1.183	0.383	0.605	1.048	0.806	0.699
16	0.605	0.443	0.383	0.524	0.322	0.912	1.345	0.443	0.484	2.342	0.806	0.699
17	0.706	0.322	0.383	0.612	0.322	1.048	1.507	0.383	0.484	2.924	0.912	0.699
18	0.443	0.322	0.383	0.383	0.322	1.115	1.183	0.413	0.443	1.568	2.365	0.511
19	0.443	0.322	0.605	0.322	0.322	1.048	1.183	0.352	0.484	0.806	0.912	0.352
20	0.524	0.383	0.524	0.322	2.089	1.048	1.345	0.352	0.484	0.806	0.912	0.322
21	0.605	0.383	0.524	0.322	0.383	1.048	1.507	0.383	0.443	0.699	0.994	0.383
22	0.443	0.322	0.605	0.322	0.605	0.912	1.183	0.413	0.524	0.652	1.048	0.383
23	0.443	0.352	0.383	0.352	0.699	0.912	1.183	0.383	0.565	0.605	0.806	0.383
24	0.524	0.352	0.383	0.383	0.605	1.115	1.183	0.383	0.484	0.524	0.806	0.383
25	0.443	0.270	0.806	0.383	2.062	1.507	1.507	0.541	0.443	0.443	1.824	0.383
26	0.443	0.322	0.706	0.322	2.175	1.507	1.345	0.806	0.484	0.413	1.183	0.352
27	0.605	0.322	0.605	0.322	3.093	1.507	1.345	0.652	0.565	0.443	0.806	0.352
28	0.565	0.443	0.383	0.322	2.331	1.183	1.183	0.652	0.759	1.398	1.622	0.322
29	0.484	0.383	0.322	0.352	2.459	1.183	1.183	1.430	1.018	0.806	2.175	0.322
30	0.806		0.494	0.322	2.331	1.507	1.183	0.605	0.524	0.806	0.806	0.383
31	0.912		0.806		2.331		1.183	0.605		0.806		0.383
MEDIA	0.548	0.486	0.475	0.477	0.889	1.390	1.285	0.601	0.605	1.030	0.993	0.582
MAXIMA ABSOLUTA	0.912	0.699	0.912	0.699	3.855	4.193	1.507	1.677	1.336	6.870	2.843	1.183
MINIMA MEDIA	0.443	0.270	0.322	0.322	0.322	0.806	1.115	0.352	0.443	0.413	0.699	0.322

*** VALORES ANUALES ***

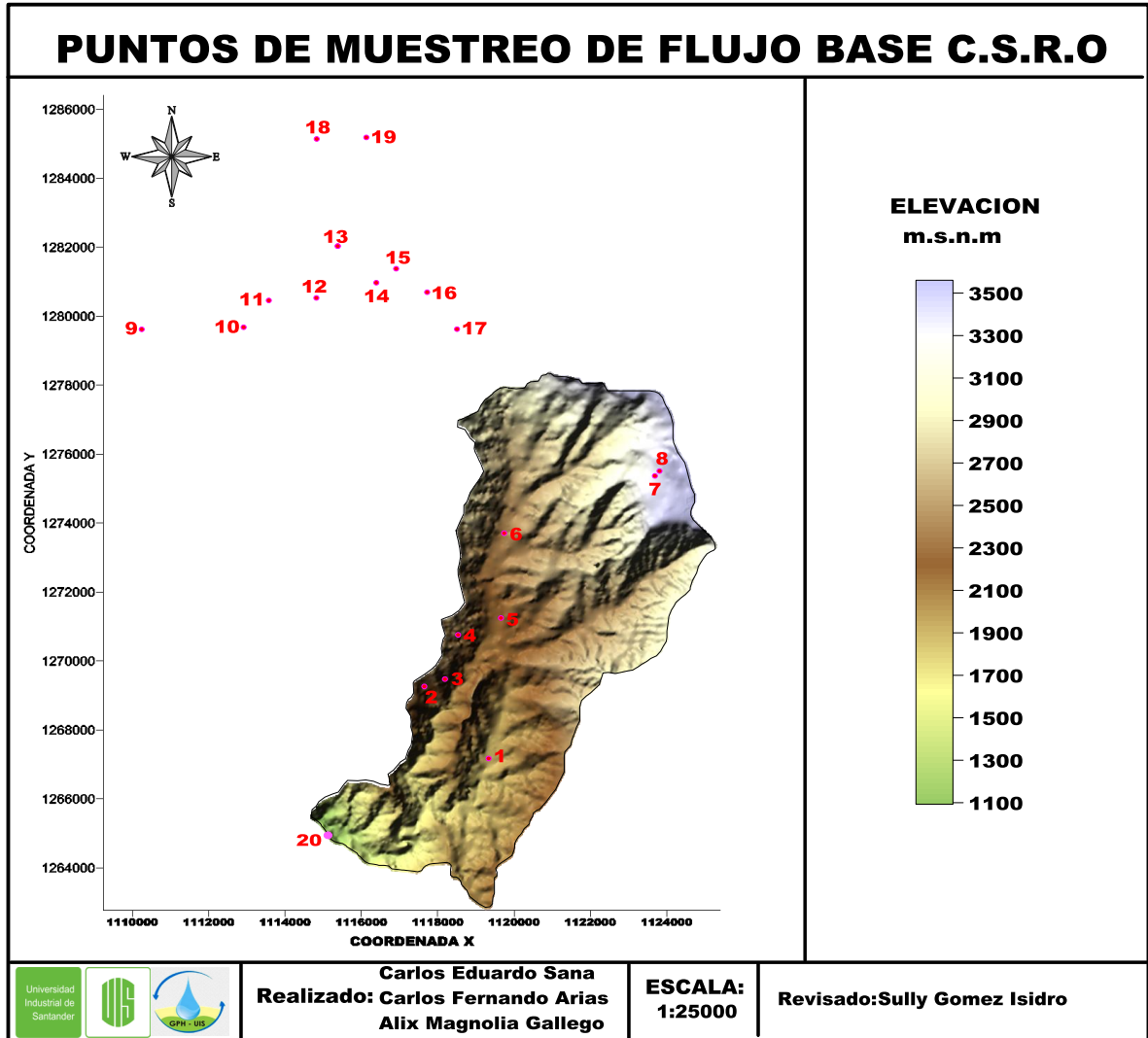
MEDIA 0.780
MAXIMA ABSOLUTA 6.870
MINIMA MEDIA 0.270

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION
NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2014/10/07		VALORES MEDIOS DIARIOS DE CAUDALES (M3/Seg)						ESTACION : 23197430 CONQUISTADOR EL					
		ANO 2009						CONQUISTADOR EL					
LATITUD	0659 N	TIPO EST	LM	DEPTO	SANTANDER <th>FECHA-INSTALACION</th> <td>1978-JUL</td> <th colspan="5"></th>	FECHA-INSTALACION	1978-JUL						
LONGITUD	7302 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	PIEDECUESTA <th>FECHA-SUSPENSIÓN</th> <td></td> <th colspan="5"></th>	FECHA-SUSPENSIÓN							
ELEVACION	1000 m.s.n.m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE	DE ORO								
DIA	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	
01	0.383	1.592	1.592	1.887	2.470	1.183	1.096	0.908	1.016	0.977	1.716	0.780	
02	0.383	1.592	1.782	1.782	2.715	1.379	1.016	0.838	1.016	1.056	1.716	0.721	
03	0.383	1.507	2.214	1.592	2.715	1.336	0.937	0.977	1.136	0.977	1.295	0.721	
04	0.413	1.336	2.331	1.592	3.390	1.421	1.016	1.016	1.056	1.096	1.564	0.604	
05	0.443	1.251	2.098	1.507	2.098	1.464	1.056	1.056	1.096	1.505	1.295	0.663	
06	0.443	1.251	1.887	1.592	2.109	1.379	1.016	1.016	1.056	0.977	1.993	0.663	
07	0.413	1.251	1.677	1.507	2.214	1.421	1.056	1.096	1.016	1.016	1.716	0.604	
08	0.443	1.251	1.507	1.464	3.349	1.592	1.056	1.056	1.016	1.016	1.295	0.604	
09	0.443	1.336	1.592	1.464	1.993	1.464	1.016	1.295	0.977	1.016	1.295	0.721	
10	0.443	1.336	2.459	1.507	2.214	1.677	1.016	1.295	0.977	1.505	1.505	0.721	
11	0.524	1.294	2.331	1.464	2.214	1.592	1.056	1.295	0.908	1.096	1.295	0.838	
12	0.443	1.251	2.459	1.421	2.214	1.677	1.096	1.716	0.977	0.977	1.215	0.721	
13	0.443	1.251	2.459	1.421	2.214	2.935	1.056	2.198	1.016	1.056	1.295	0.663	
14	0.443	1.379	2.331	1.464	2.214	1.993	0.977	1.176	1.016	1.056	1.136	0.604	
15	0.443	1.379	2.214	1.421	1.887	1.854	0.977	1.056	1.016	1.016	1.215	0.721	
16	0.524	1.251	1.421	1.464	1.993	1.348	0.977	1.096	1.016	1.016	1.215	1.136	
17	0.524	1.251	2.933	1.507	2.098	1.176	1.056	1.136	0.977	1.096	1.136	0.987	
18	0.524	1.251	2.132	1.464	2.331	0.977	1.056	1.505	1.016	1.136	1.056	1.136	
19	0.484	1.379	1.592	1.464	2.214	1.016	1.096	1.295	1.016	1.136	1.096	0.838	
20	0.524	1.421	1.507	1.421	2.214	0.977	1.016	1.295	1.056	1.016	1.016	0.838	
21	0.484	1.464	2.098	1.464	2.214	1.056	1.016	1.136	0.977	1.016	0.977	0.838	
22	0.484	1.421	4.728	1.421	2.331	1.056	1.016	1.136	0.977	1.056	0.977	0.780	
23	0.524	1.464	1.782	1.421	2.331	1.016	0.977	1.215	1.016	1.056	0.937	1.136	
24	0.443	1.592	1.345	1.421	2.098	1.016	1.016	1.215	0.977	1.096	0.868	0.987	
25	0.443	1.592	3.572	1.379	1.993	1.016	1.016	1.176	1.056	1.056	0.868	0.838	
26	0.443	1.592	2.175	1.379	2.098	0.987	0.977	1.136	1.056	1.215	0.838	0.838	
27	0.484	1.782	1.507	1.379	2.331	0.868	1.016	1.096	1.016	1.136	0.908	0.721	
28	0.443	1.592	1.993	1.421	2.395	0.977	0.977	1.136	1.016	1.295	1.016	0.849	
29	0.443		2.098	1.507	1.677	1.215	1.016	1.096	0.977	1.505	0.977	0.838	
30	1.017		1.782	2.470	1.507	1.096	0.908	0.977	1.016	1.295	1.016	0.721	
31	1.592		1.677		1.336		0.977	1.056		1.295		0.604	
MEDIA	0.512	1.404	2.106	1.522	2.231	1.339	1.018	1.184	1.015	1.121	1.215	0.788	
MAXIMA ABSOLUTA	1.592	1.887	6.870	2.843	4.193	4.193	1.136	2.680	1.215	1.716	1.993	1.136	
MINIMA MEDIA	0.383	1.251	1.345	1.379	1.336	0.868	0.908	0.838	0.908	0.977	0.838	0.604	
*** VALORES ANUALES ***													
MEDIA 1.288													
MAXIMA ABSOLUTA 6.870													
MINIMA MEDIA 0.383													

Anexo J. Ubicación de los manantiales objeto de la investigación.



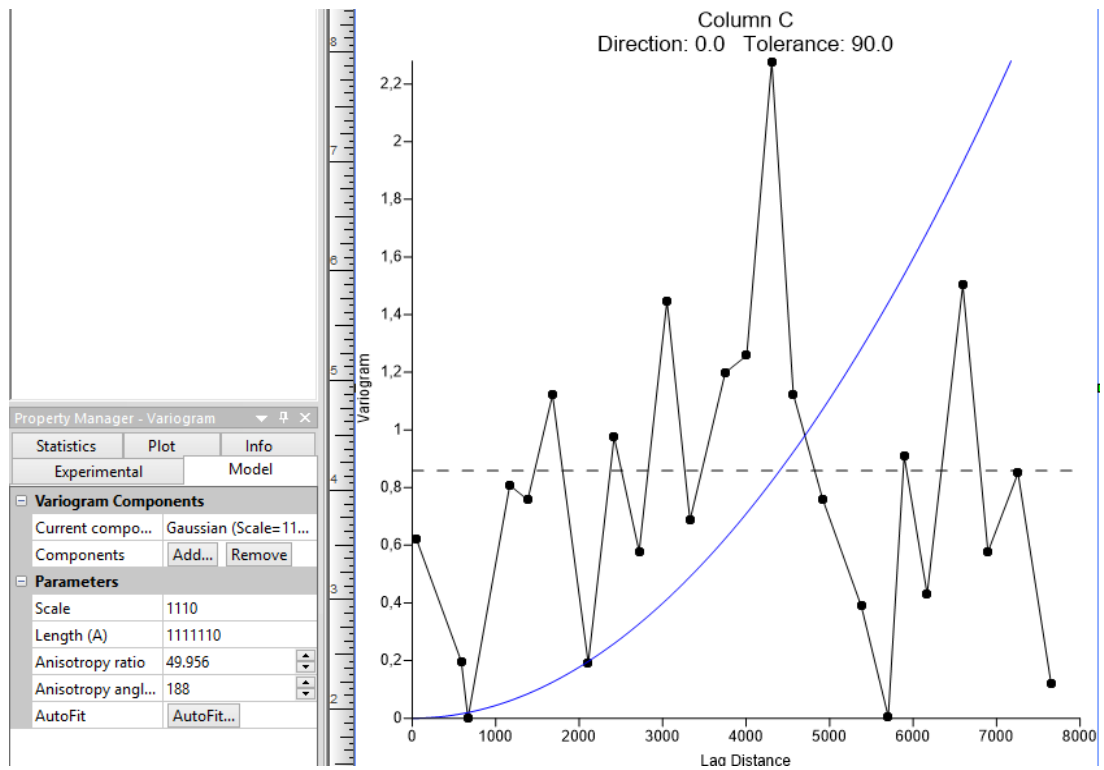
Anexo K. Datos de isótopos del flujo base.

DESCRIPCIÓN	Este	Norte	Altura	d2H	18O
Día 4 FID 4	1279755	1112860	1789	-51.7	-8.02
Día 4 FID 8	1282132	1115350	2019	-49.4	-7.26
Km 20	1113526	1280540	1893	-50.6	-7.61
El Carajo	1282132	1115350	2220	-52.7	-7.44
Día 1 FID 4	1279694	1110164	1650	-47.3	-6.90
Día 1 FID 7	1281060	1116370	1985	-48.8	-6.56
Día 1 FID 9	1281470	1116895	2026	-50.8	-6.67
Día 2 FID 0	1280782	1117716	2228	-59.2	-8.87
Día 2 FID 2	1279699	1118506	2505	-59.9	-9.20
Día 3 FID 1	1273722	1119753	2370	-66.1	-9.72
Día 3 FID 3	1273722	1119753	2385	-68.2	-9.88
Día 3 FID 4	1271237	1119668	2199	-63.3	-9.25
Día 3 FID 8	1267122	1119342	1856	-49.4	-6.13
Km 15 Vía ICP-La Vega	1117640.330	1269231.930	2194	-52.40	-8.14
Km 16 Vía ICP-La Vega	1118185.690	1269447.410	2241	-56.31	-8.59
Km 18 Vía ICP-La Vega izquierda	1118534.580	1270743.910	2333	-60.29	-9.11
Km 18Vía ICP-La Vega derecha	1118534.580	1270743.910	2333	-50.42	-7.55
Picacho-Uval	1123862.780	1275542.960	3418	-70.03	-9.95
Picacho-La Mosita	1123740.840	1275400.450	3406	-69.96	-9.72
Rio Frio - Km 20	1114784.490	1280614.780	1804	-56.96	-8.83
Manantial Rio Frio	1114793.540	1285271.260	1806	-55.25	-8.33

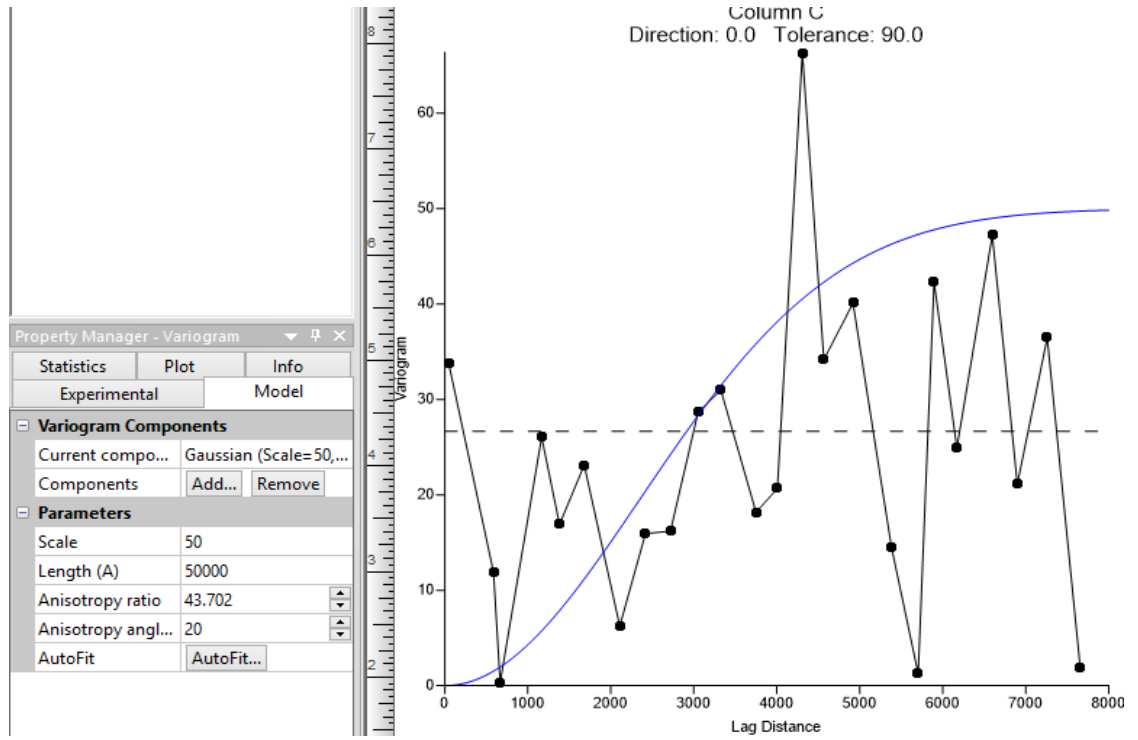
Tona Carrizal	1116105.860	1285316.450	1274	-51.77	-7.54
Conquistador	111497.760	1265379.870	1101	-73.30	-10.57

Anexo L. Variograma de lluvias

Variogramas flujo base oxigeno 18

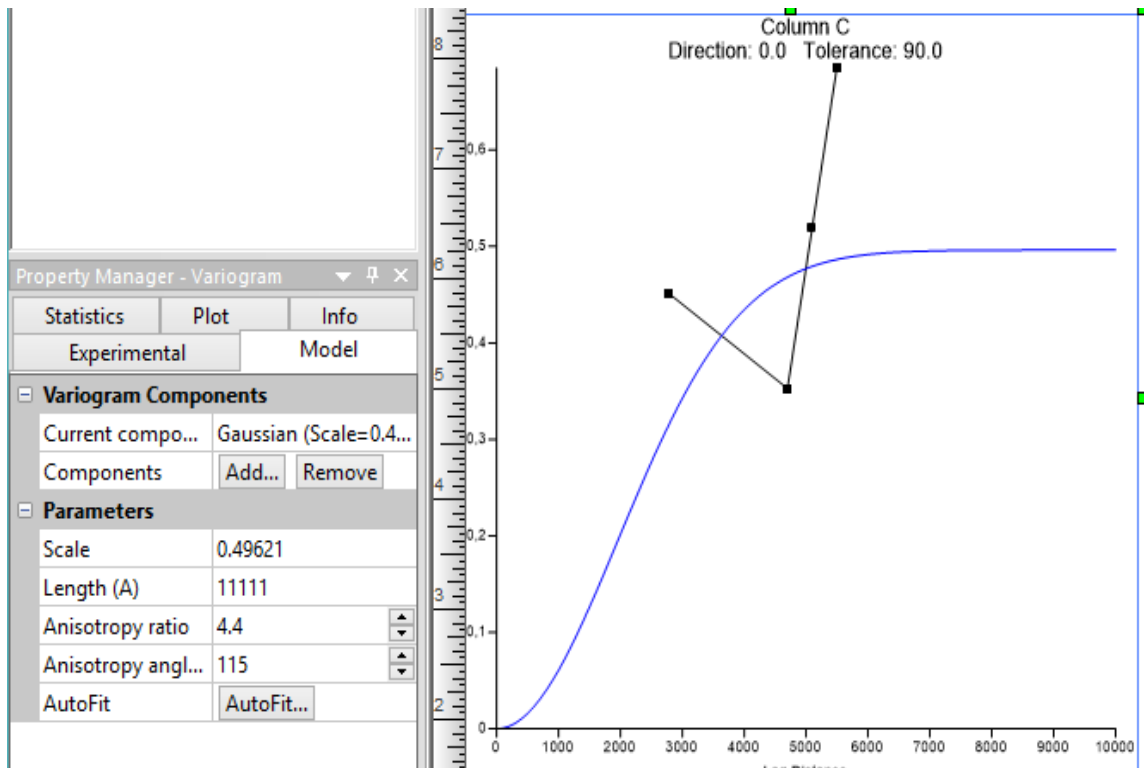


Variogramas flujo base h2

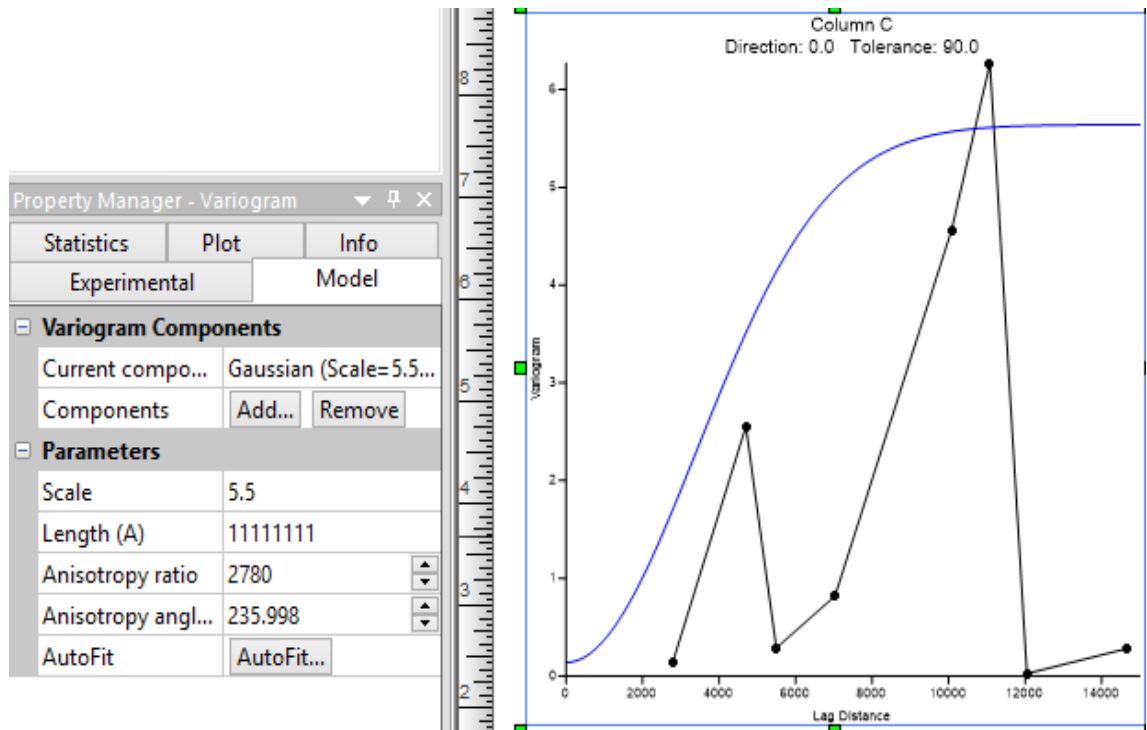


Variogramas lluvias oxigeno 18

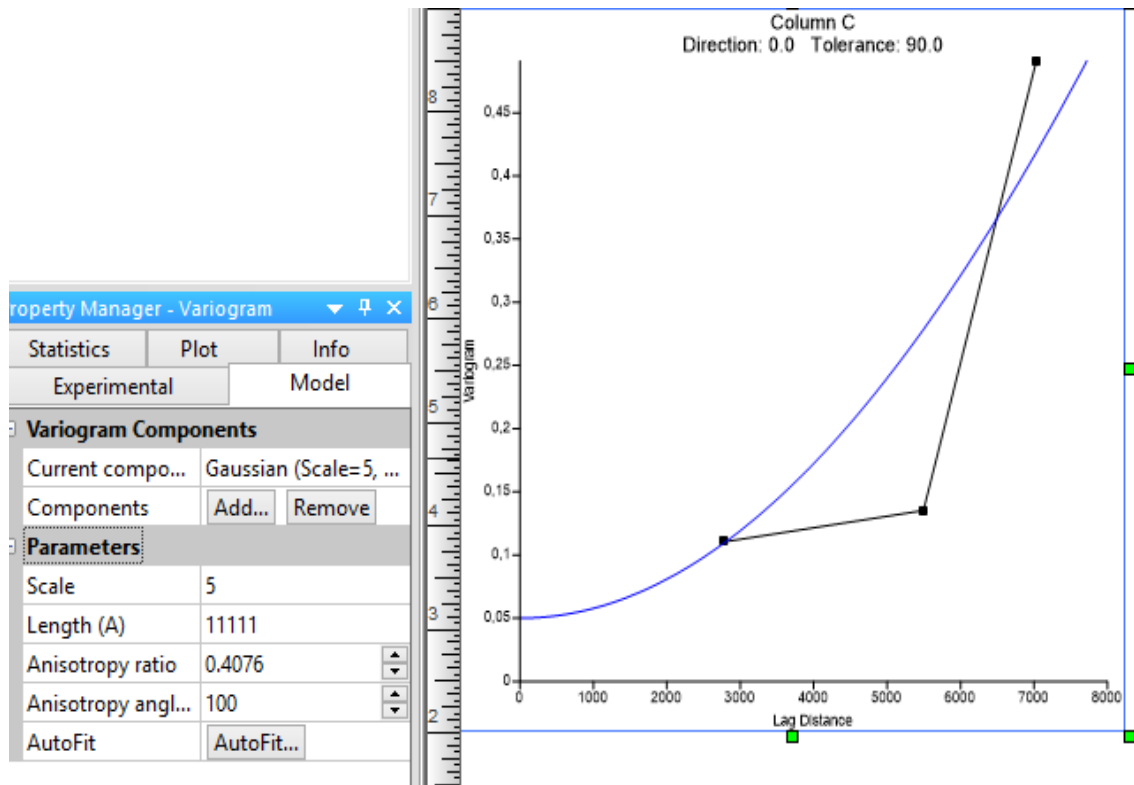
Año 2004-segunda temporada



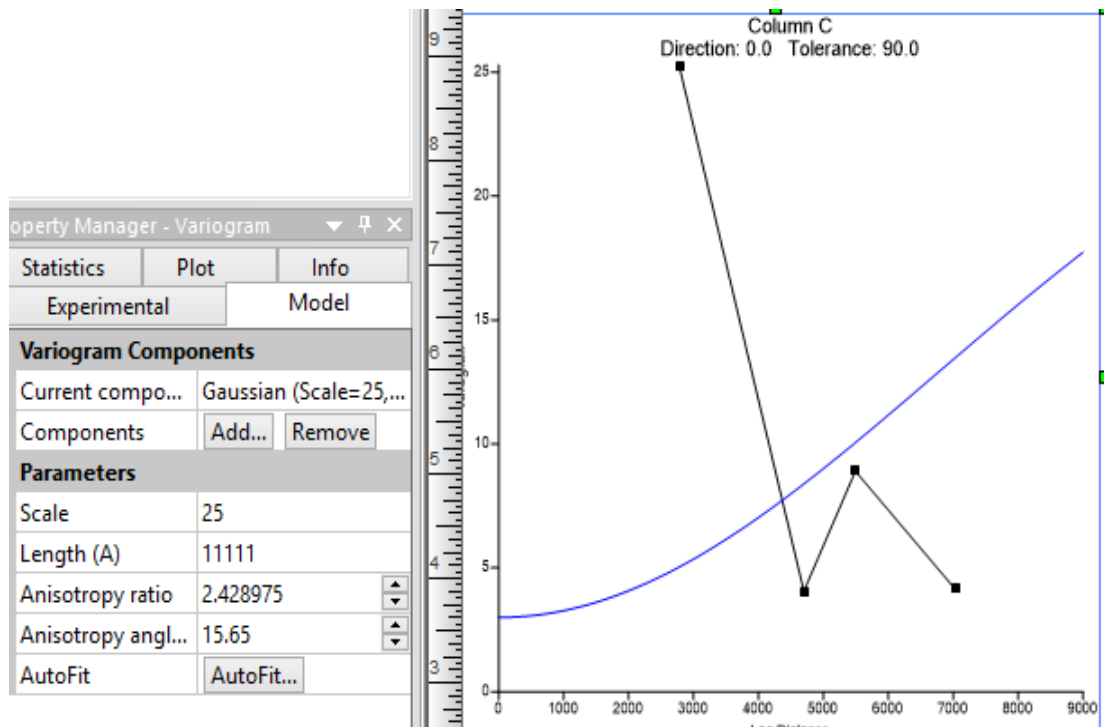
Año 2005 Primera Temporada



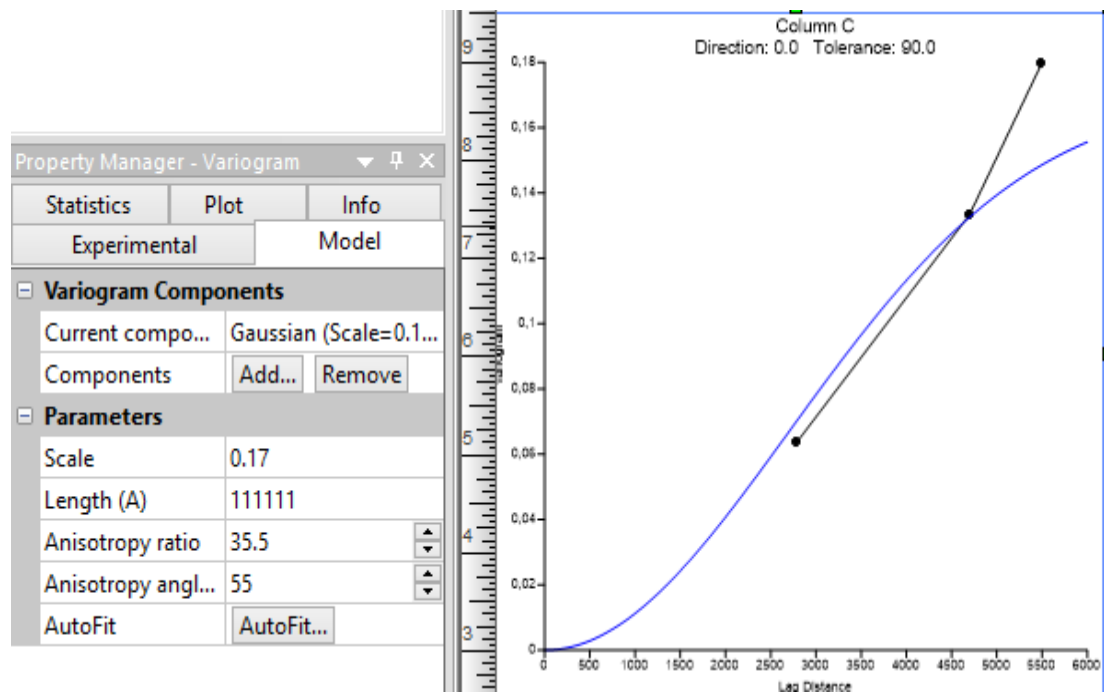
Año 2005 segunda Temporada



Año 2006 Primera Temporada

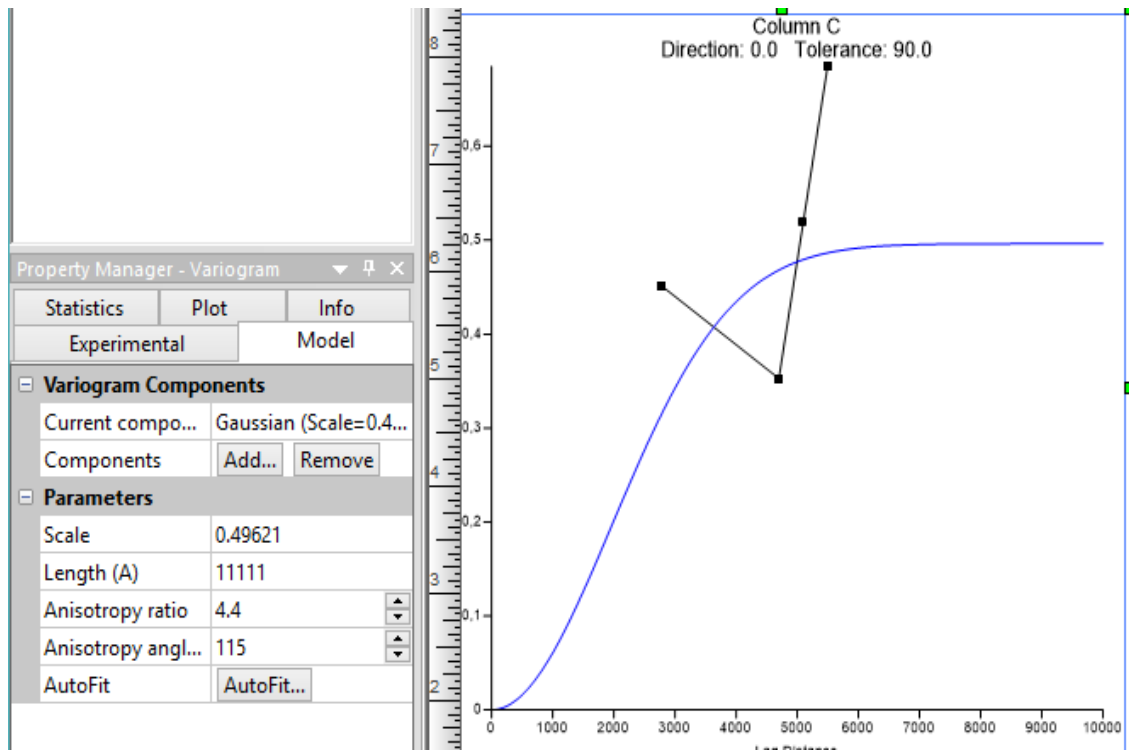


Año 2006 segunda Temporada

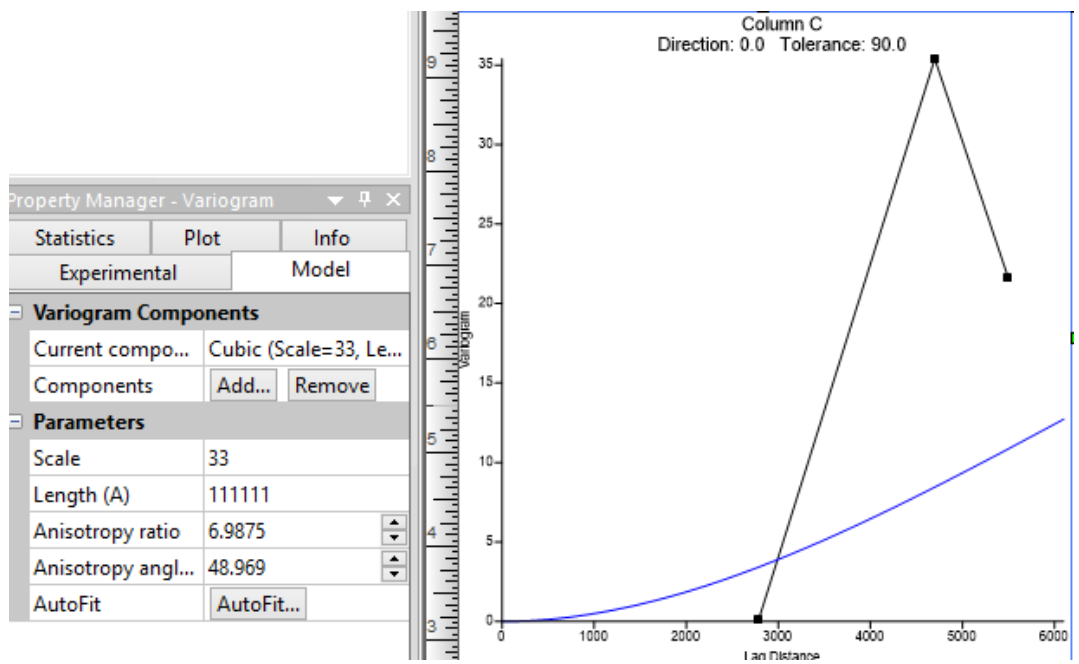


Variogramas lluvias deuterio

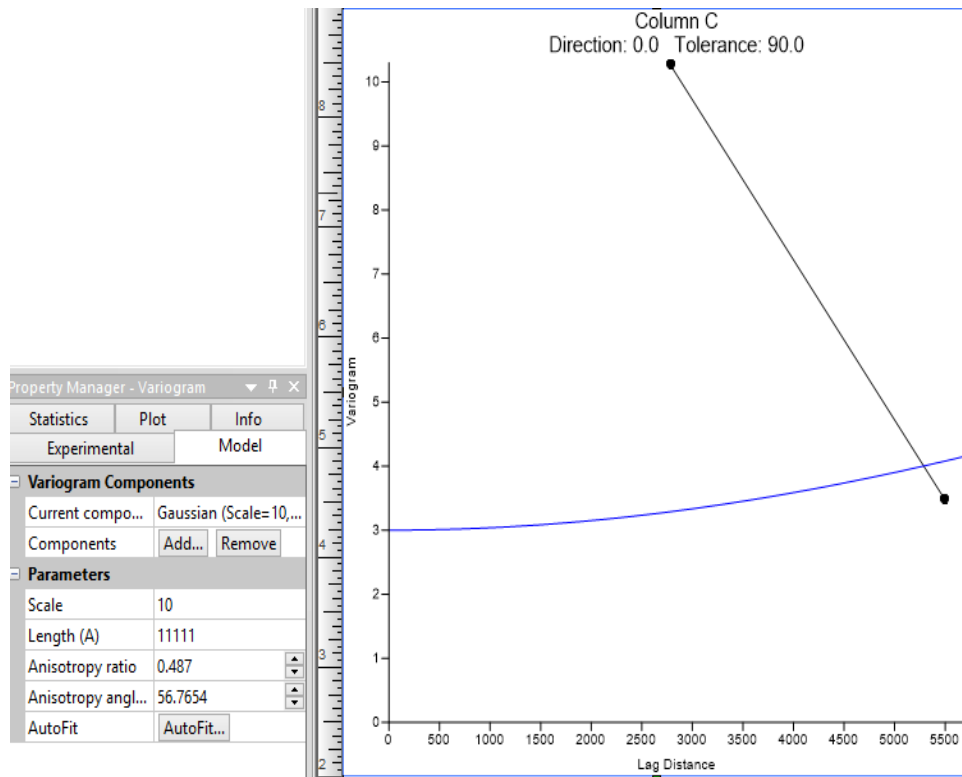
Año 2004 segunda temporada



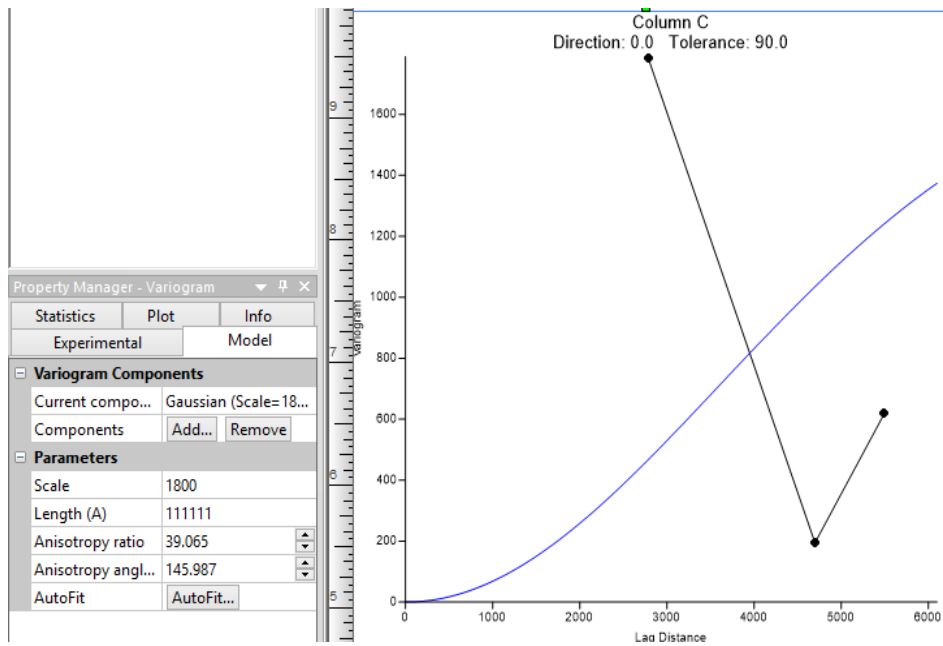
Año 2005 Primera Temporada



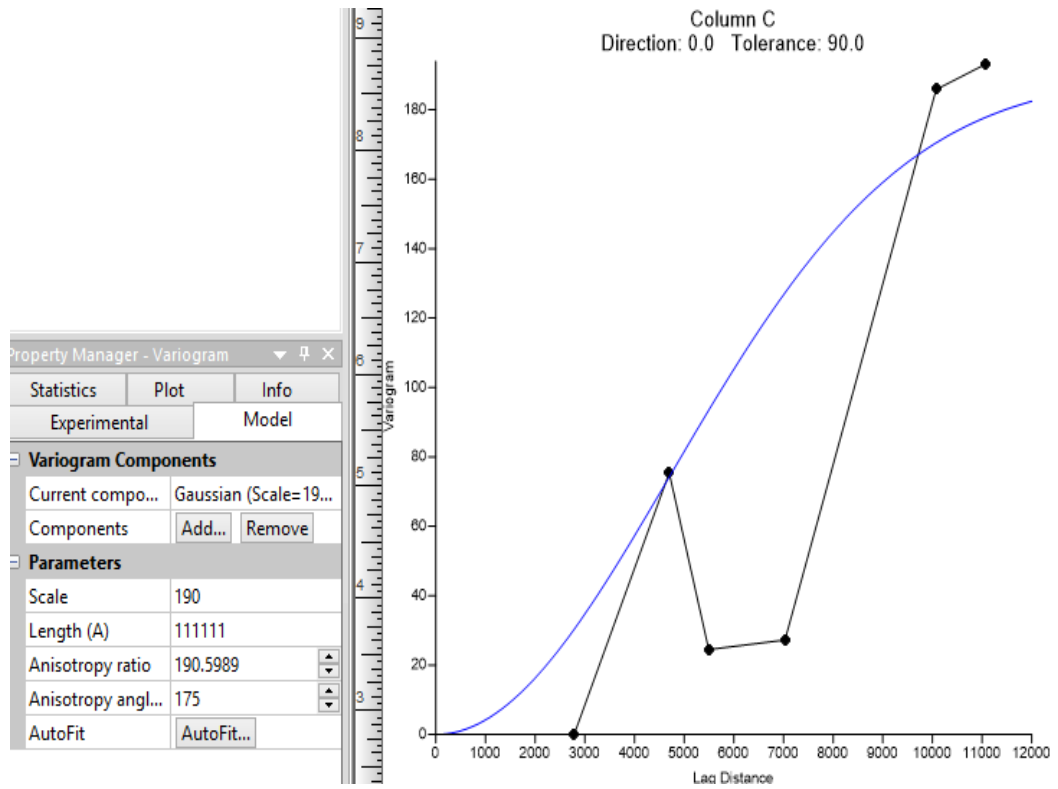
Año 2005 segunda Temporada



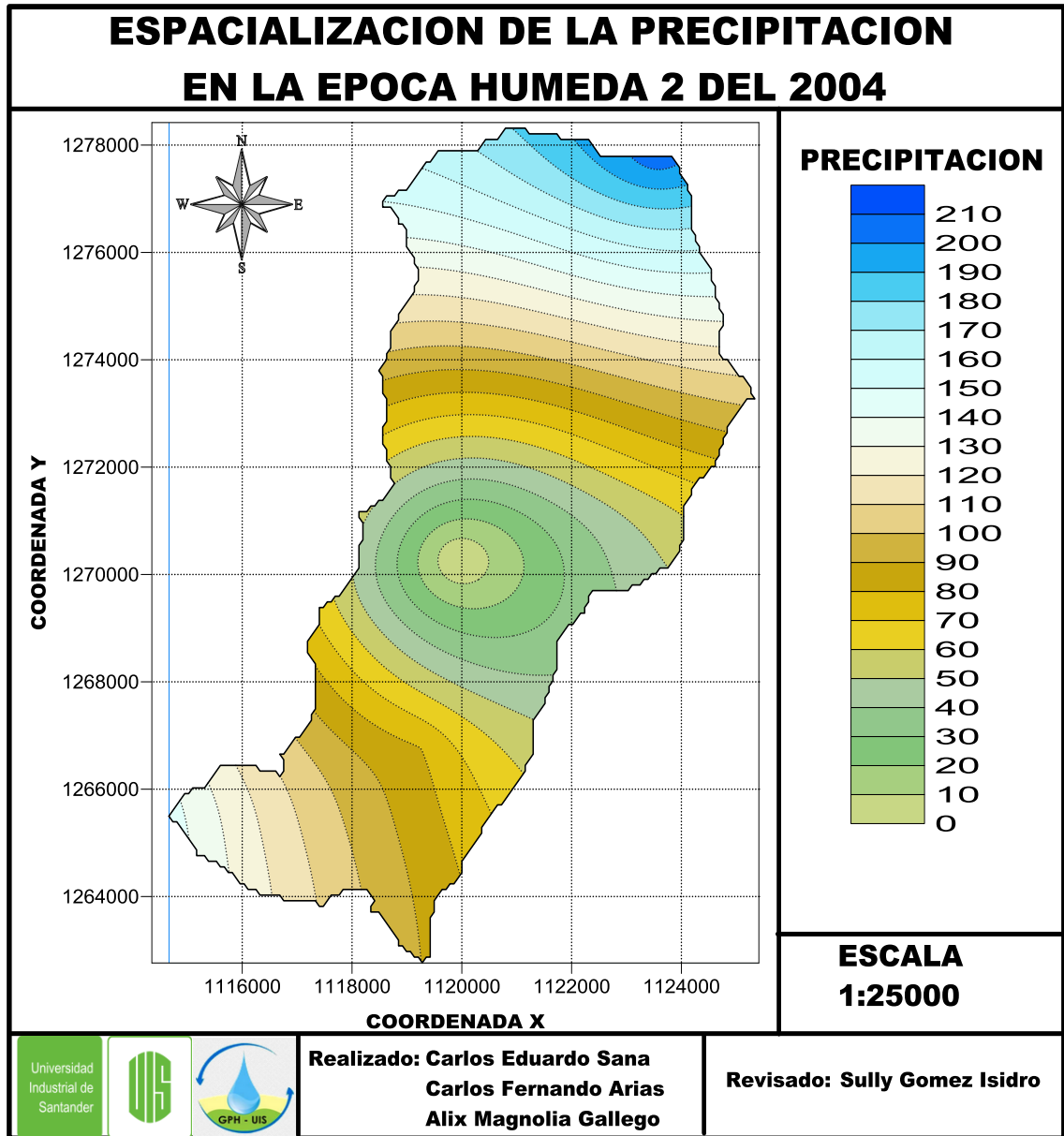
Año 2006 Primera Temporada



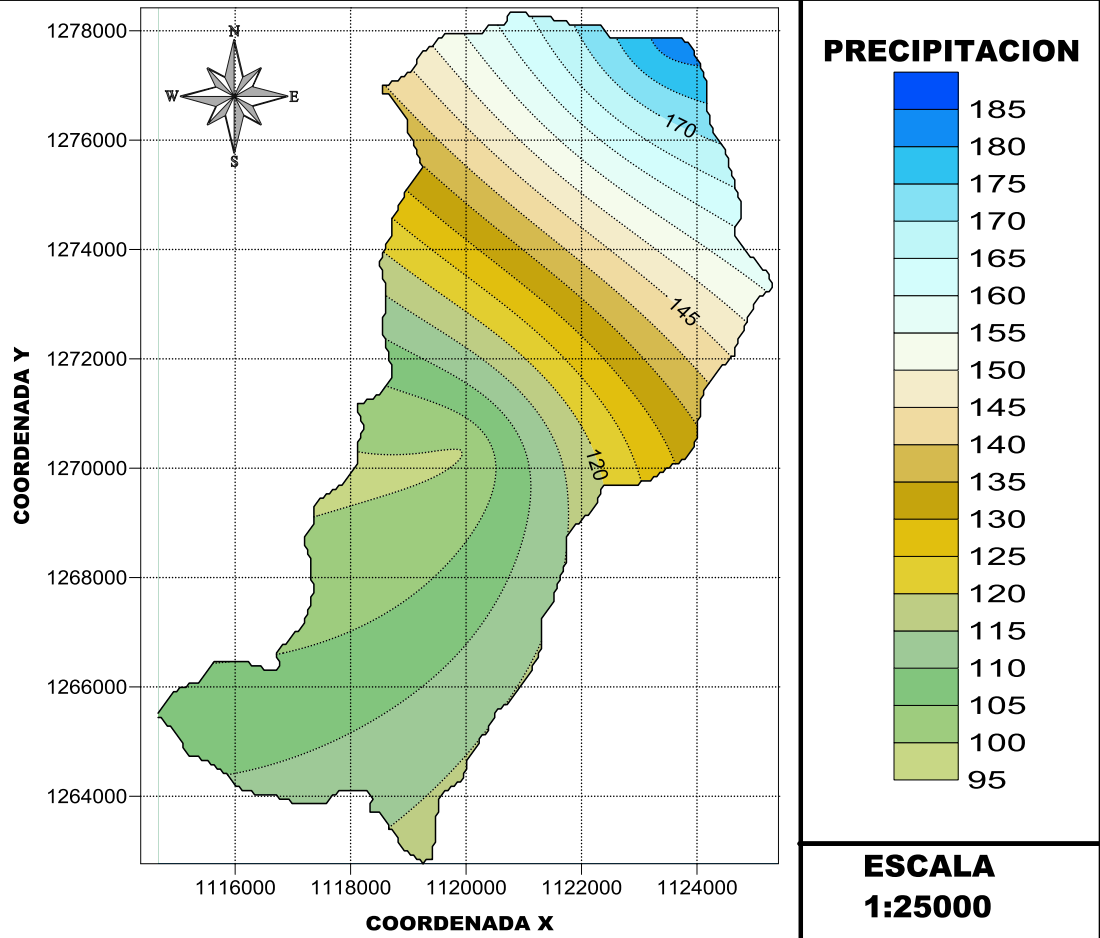
Año 2006 segunda Temporada



Anexo M. Espacialización de la precipitación.

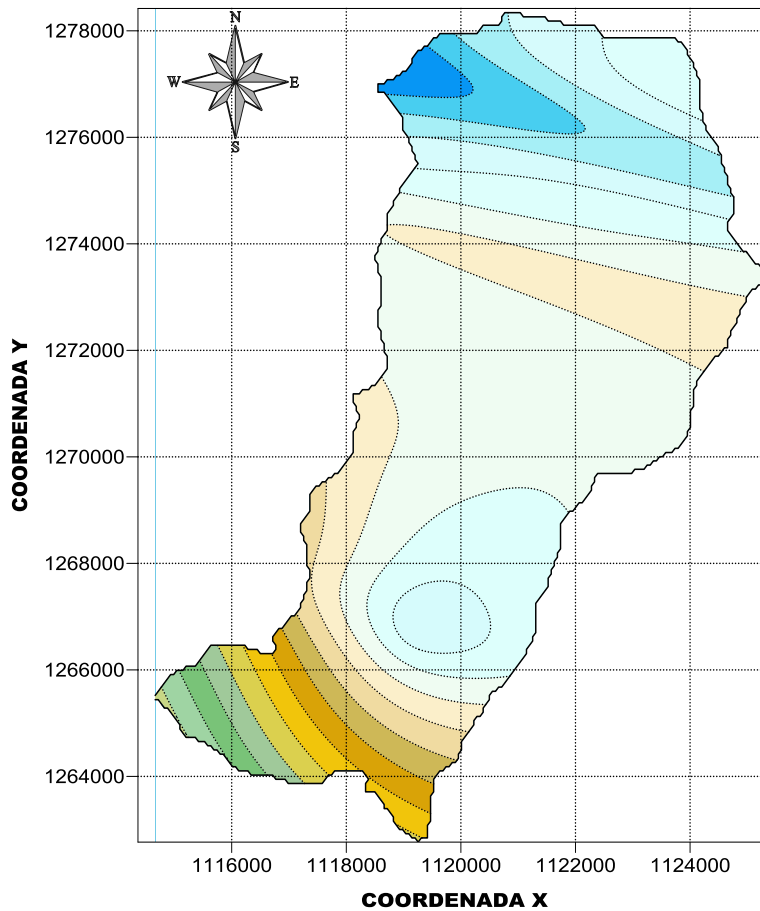


ESPACIALIZACION DE LA PRECIPITACION EN LA EPOCA HUMEDA 1 DEL 2005

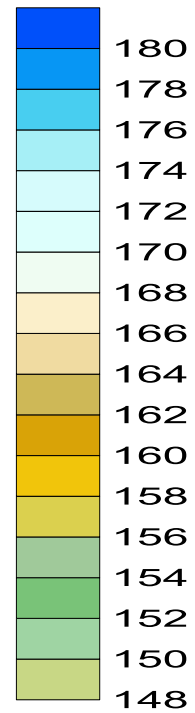


			Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego	Revisado: Sully Gomez Isidro
---	---	---	---	-------------------------------------

ESPACIALIZACION DE LA PRECIPITACION EN LA EPOCA HUMEDA 2 DEL 2005



PRECIPITACION



**ESCALA
1:25000**

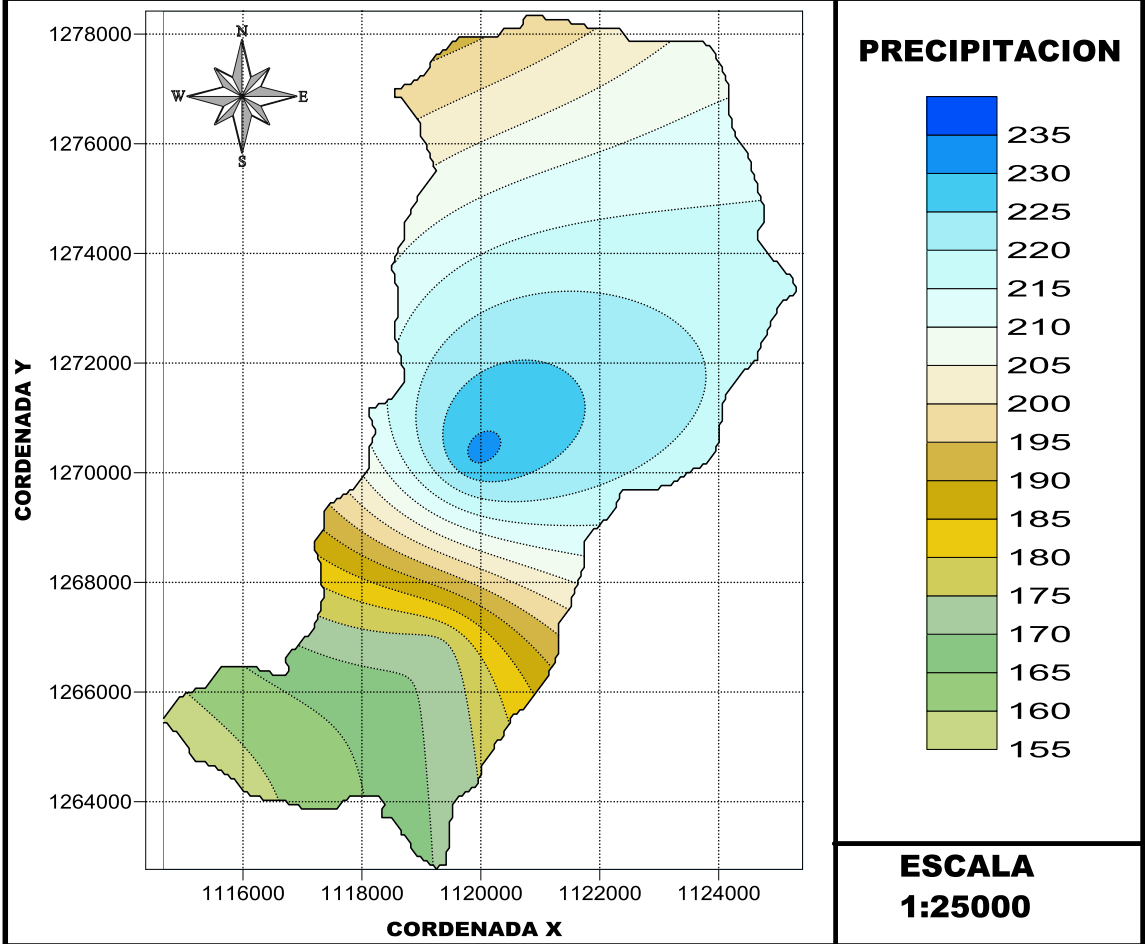
Universidad
Industrial de
Santander



**Realizado: Carlos Eduardo Sana
Carlos Fernando Arias
Alix Magnolia Gallego**

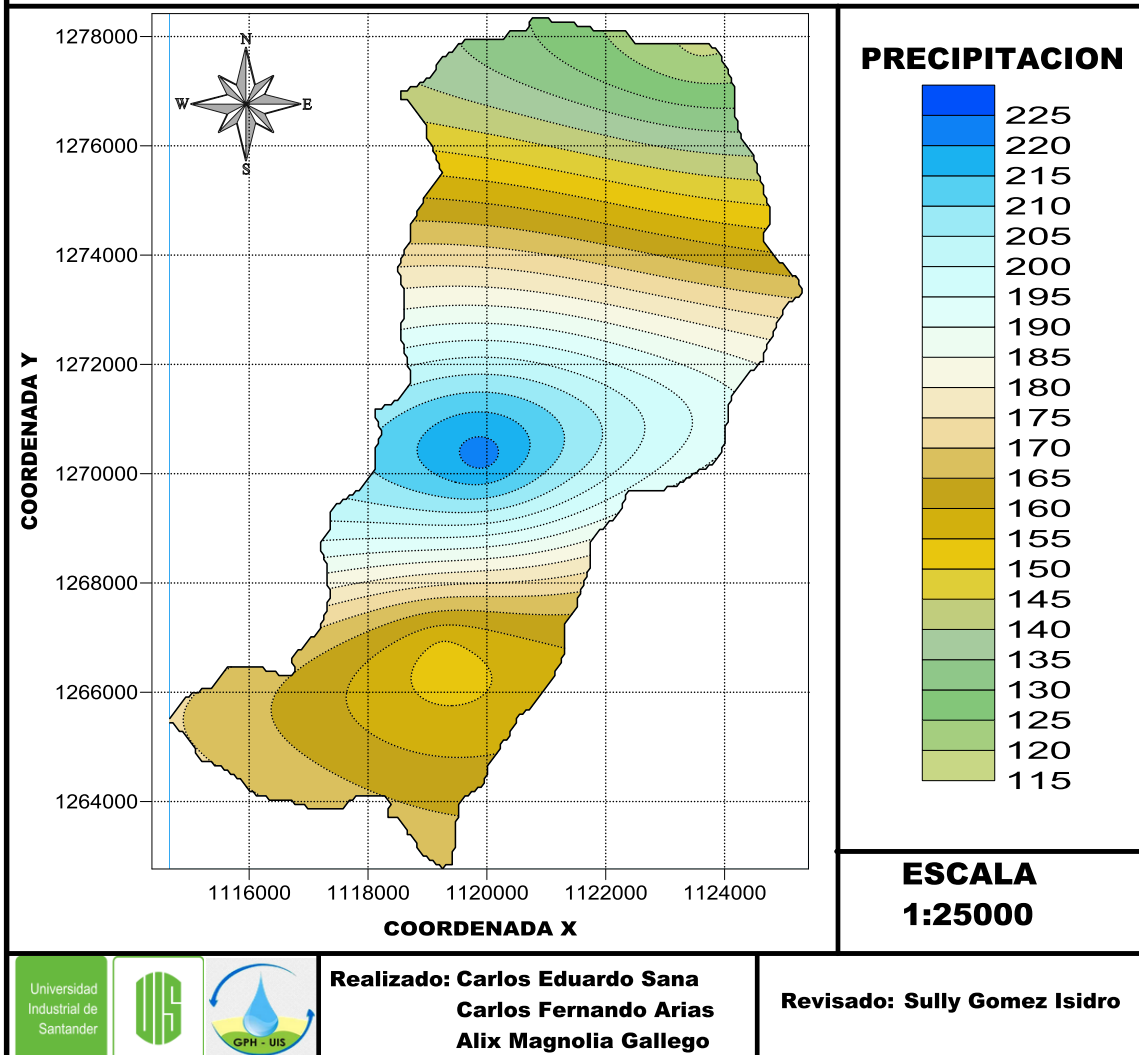
Revisado: Sully Gomez Isidro

ESPACIALIZACION DE LA PRECIPITACION EN LA EPOCA HUMEDA 1 DEL 2006

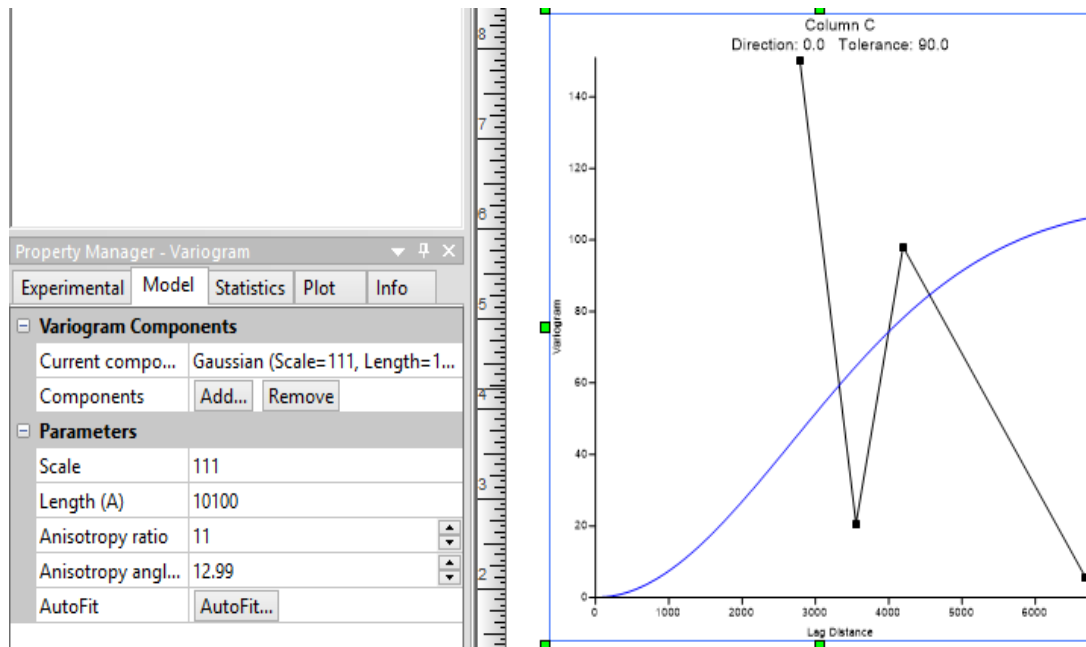


Universidad Industrial de Santander			Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego	Revisado: Sully Gomez Isidro
---	--	--	---	-------------------------------------

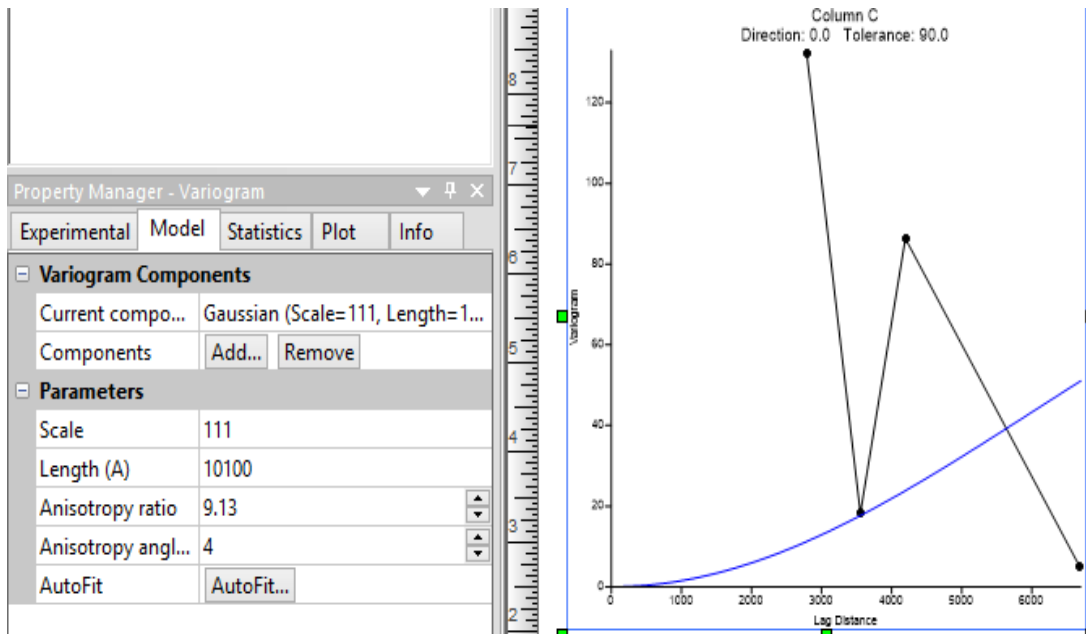
ESPACIALIZACION DE LA PRECIPITACION EN LA EPOCA HUMEDA 2 DEL 2006



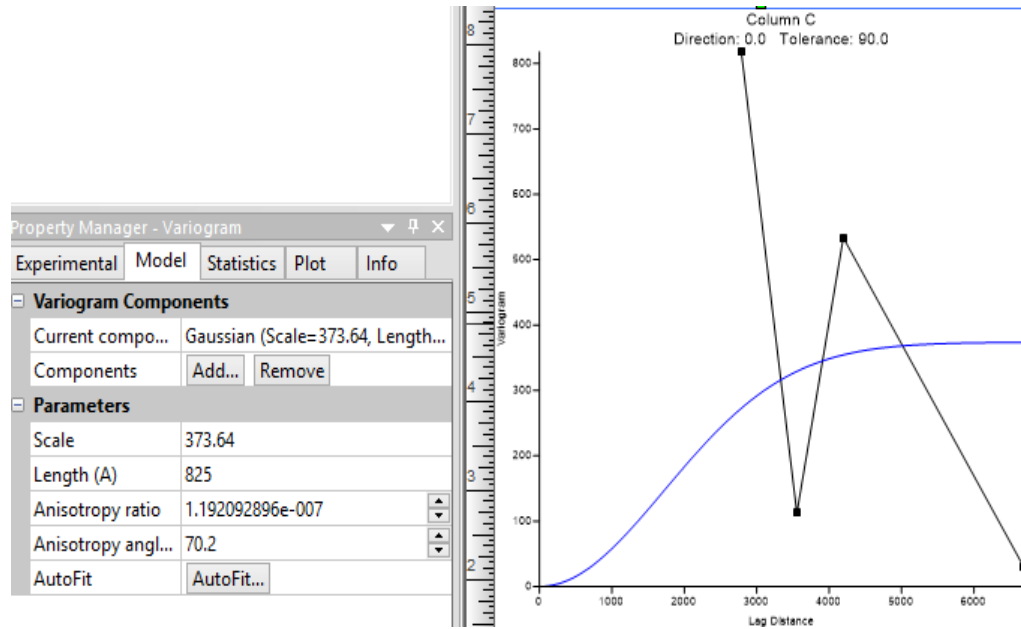
Anexo N. Variograma de isotopos con sus componentes de precipitación
 Variograma 2004 segunda temporada



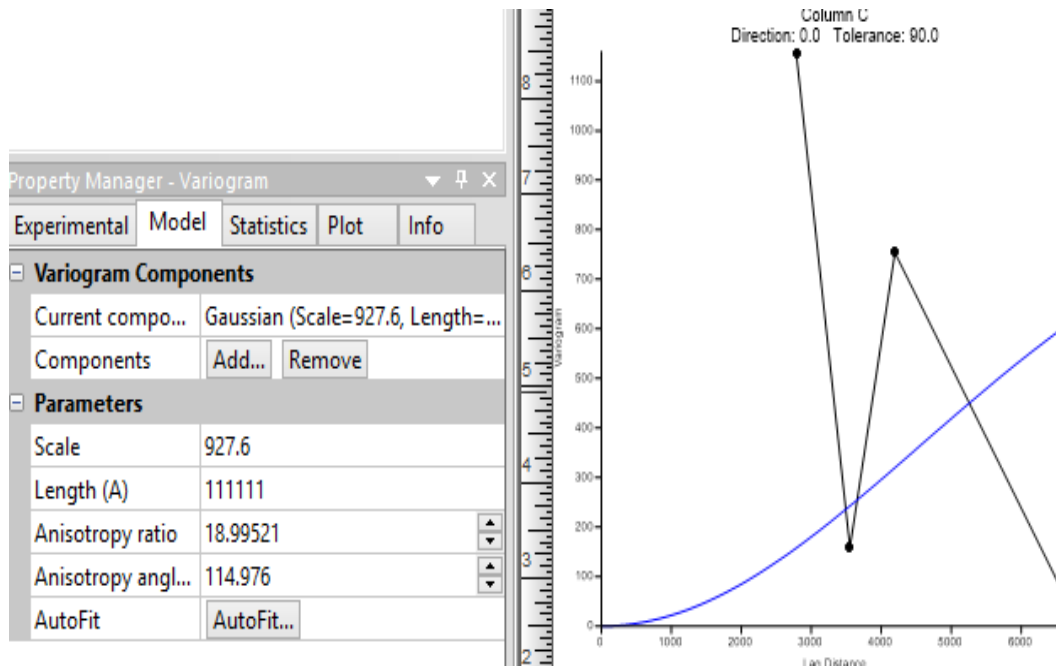
Variograma 2005 primera temporada



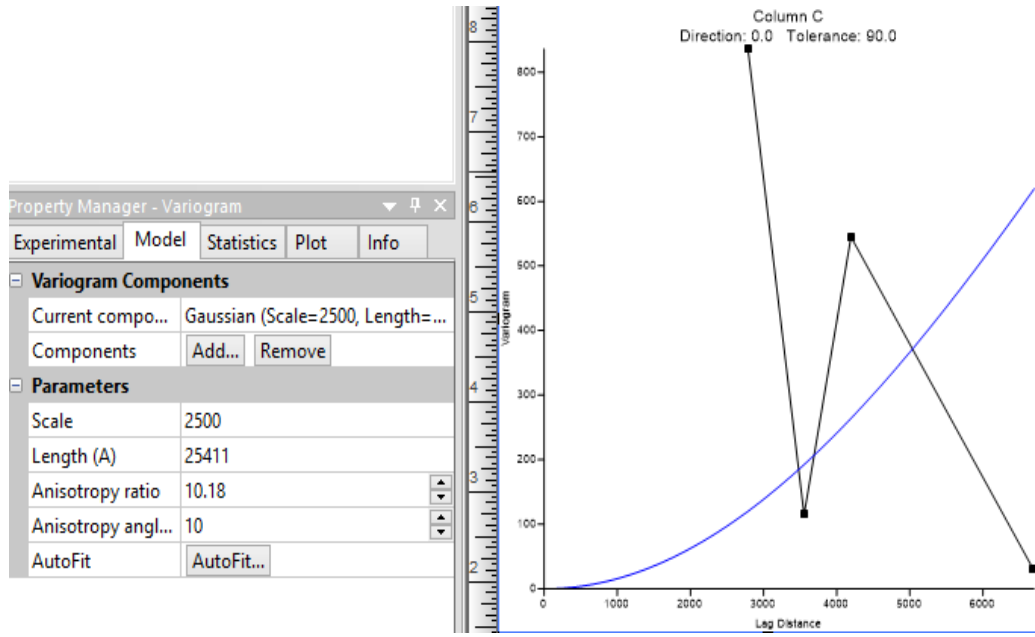
Variograma 2005 segunda temporada



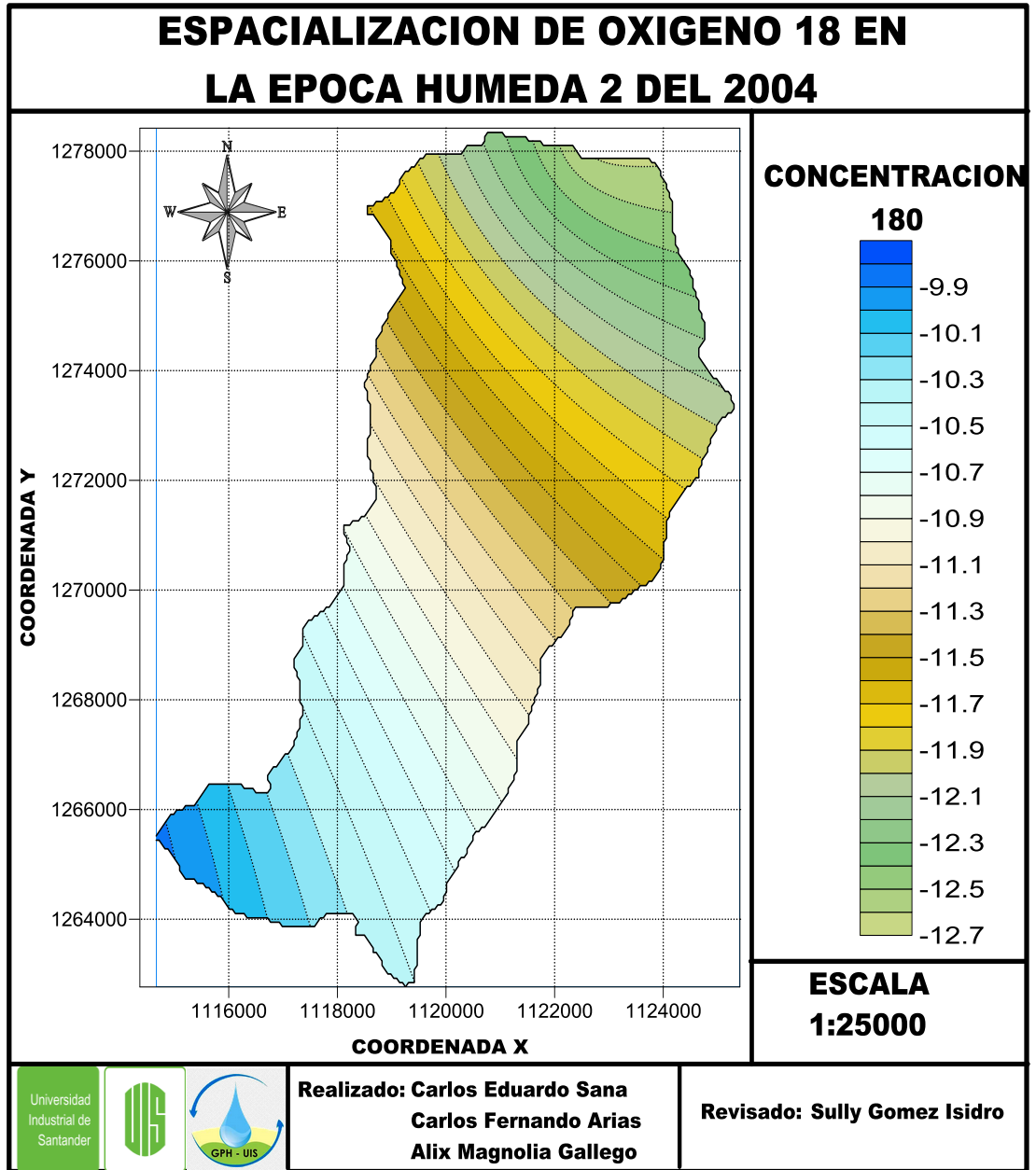
Variograma 2006 primera temporada



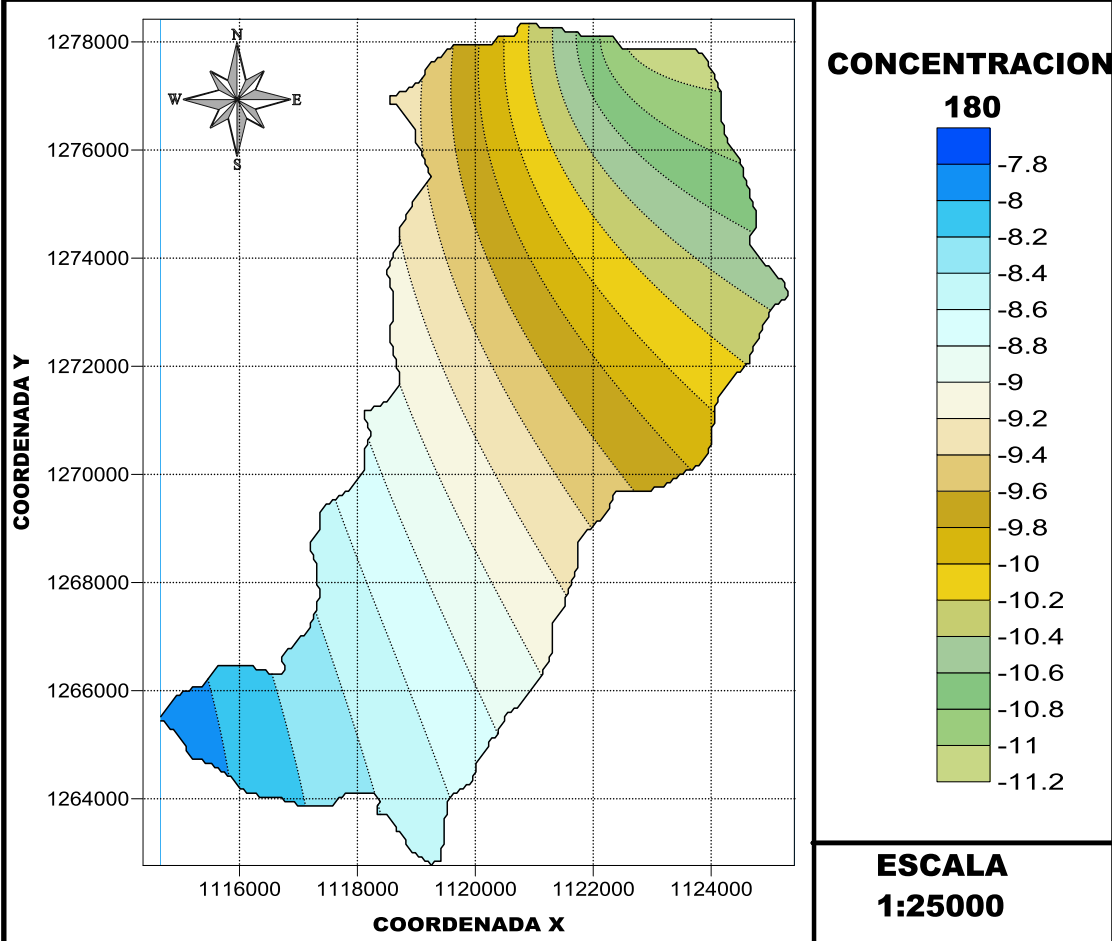
Variograma 2006 segunda temporada



Anexo O. Espacialización de los isotopos de precipitación.

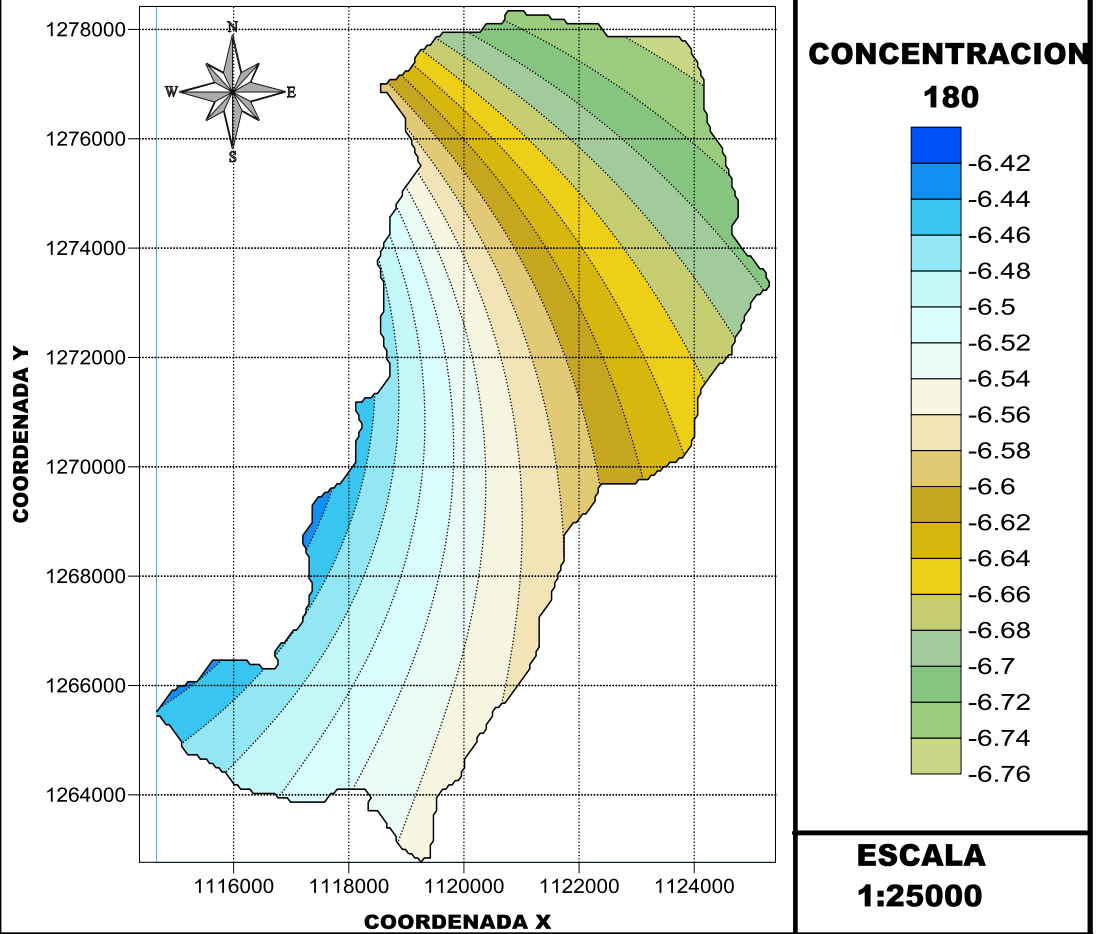


ESPACIALIZACION DE OXIGENO 18 EN LA EPOCA HUMEDA 1 DEL 2005



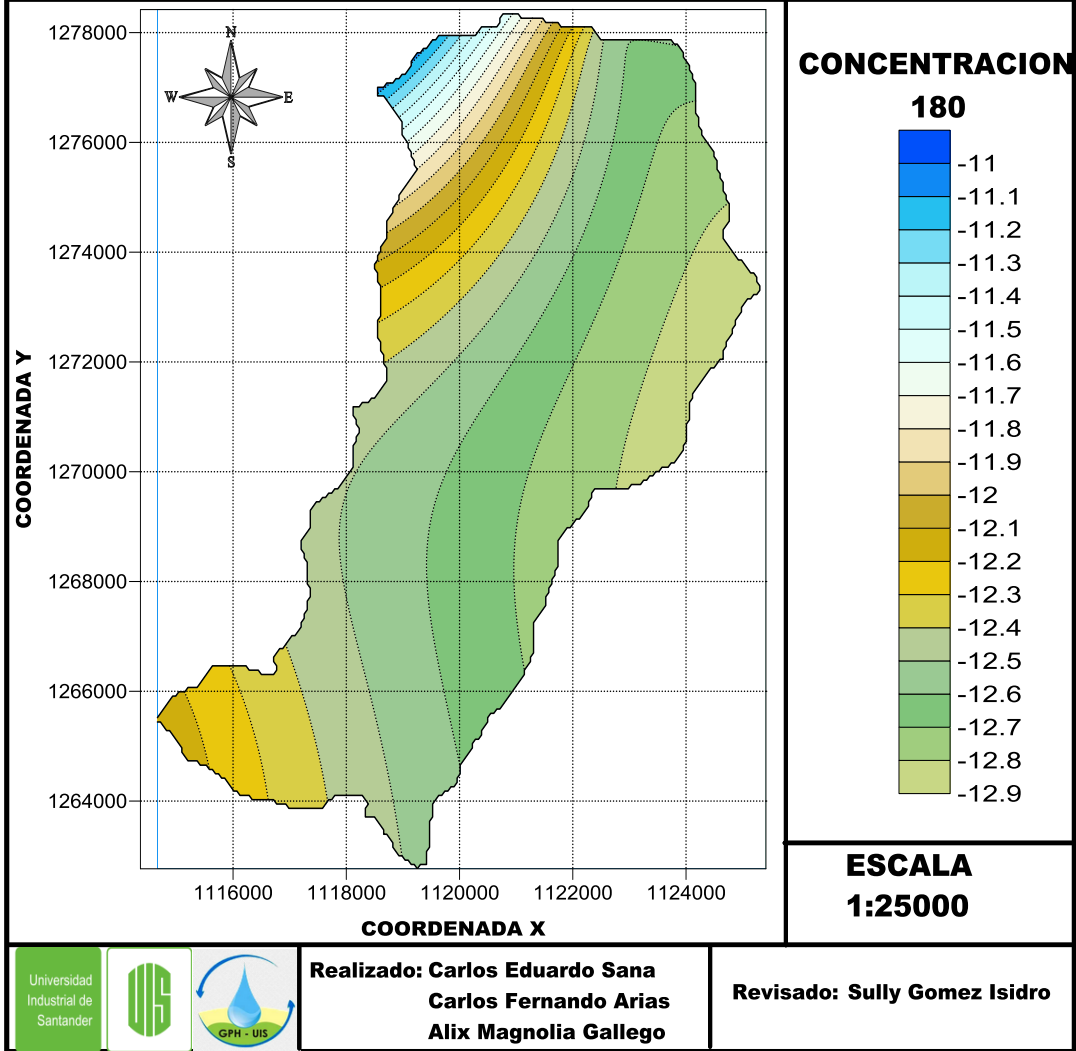
 <p>Universidad Industrial de Santander</p>	 <p>GPH - UIS</p>	<p>Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego</p>	<p>Revisado: Sully Gomez Isidro</p>
--	--	--	--

ESPACIALIZACION DE OXIGENO 18 EN LA EPOCA HUMEDA 2 DEL 2005

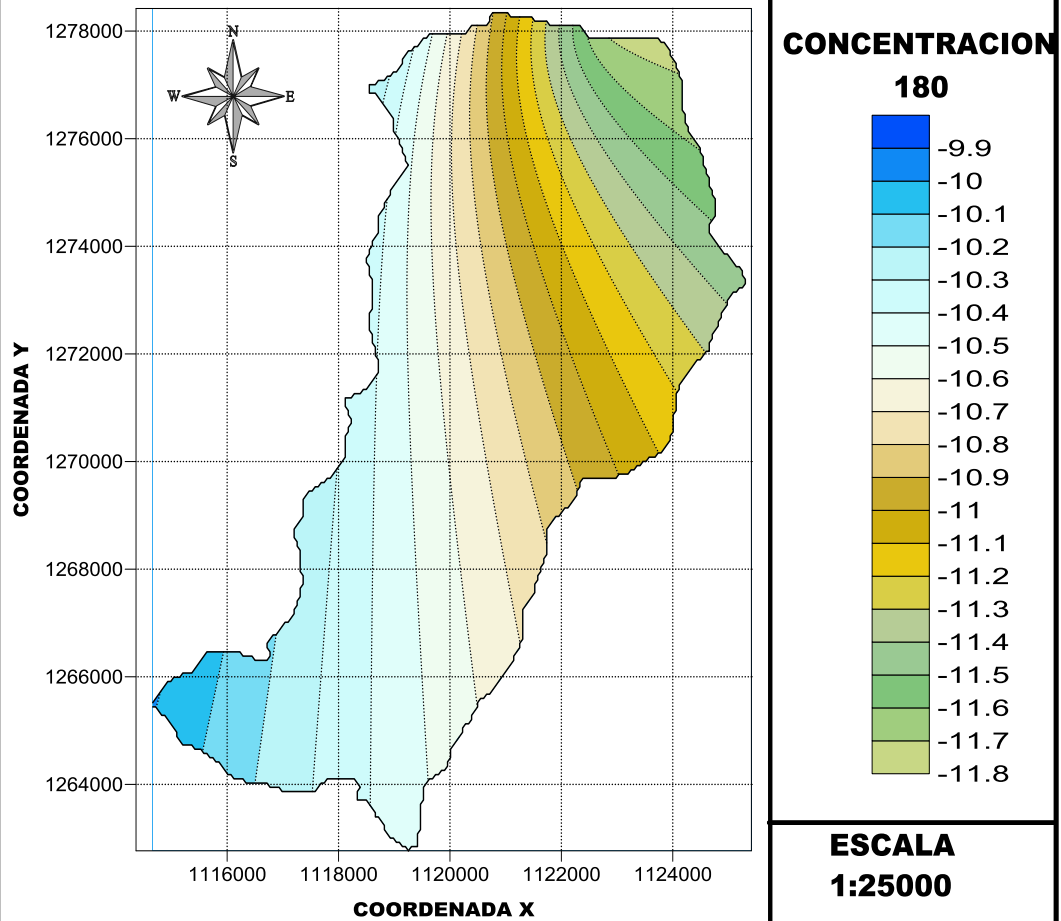


 <p>Universidad Industrial de Santander</p>	 <p>GPH - UIS</p>	<p>Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego</p>	<p>Revisado: Sully Gomez Isidro</p>
--	--	--	--

ESPACIALIZACION DE OXIGENO 18 EN LA EPOCA HUMEDA 1 DEL 2006

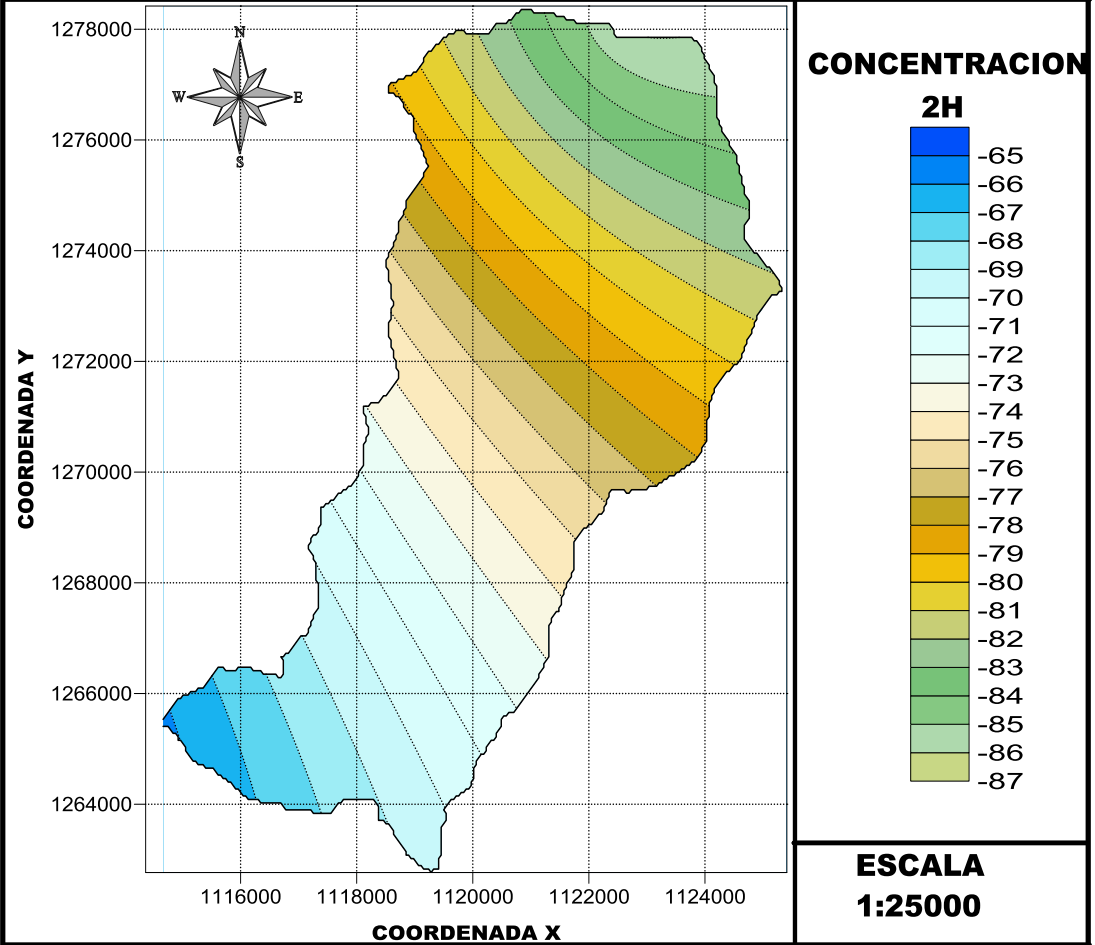


ESPACIALIZACION DE OXIGENO 18 EN LA EPOCA HUMEDA 2 DEL 2006



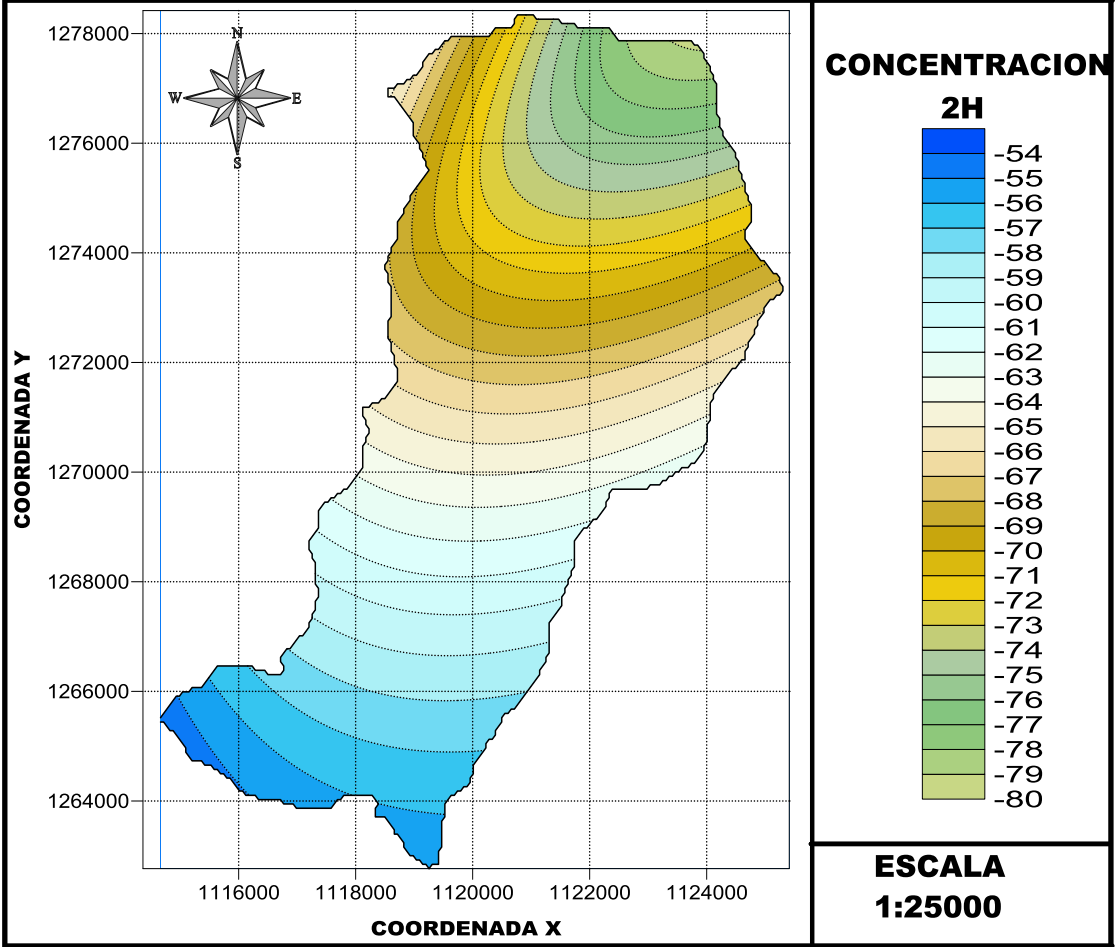
 <p>Universidad Industrial de Santander</p>	 <p>GPH - UIS</p>	<p>Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego</p>	<p>Revisado: Sully Gomez Isidro</p>
--	--	--	--

ESPACIALIZACION DE DEUTERIO EN LA EPOCA HUMEDA 2 DEL 2004



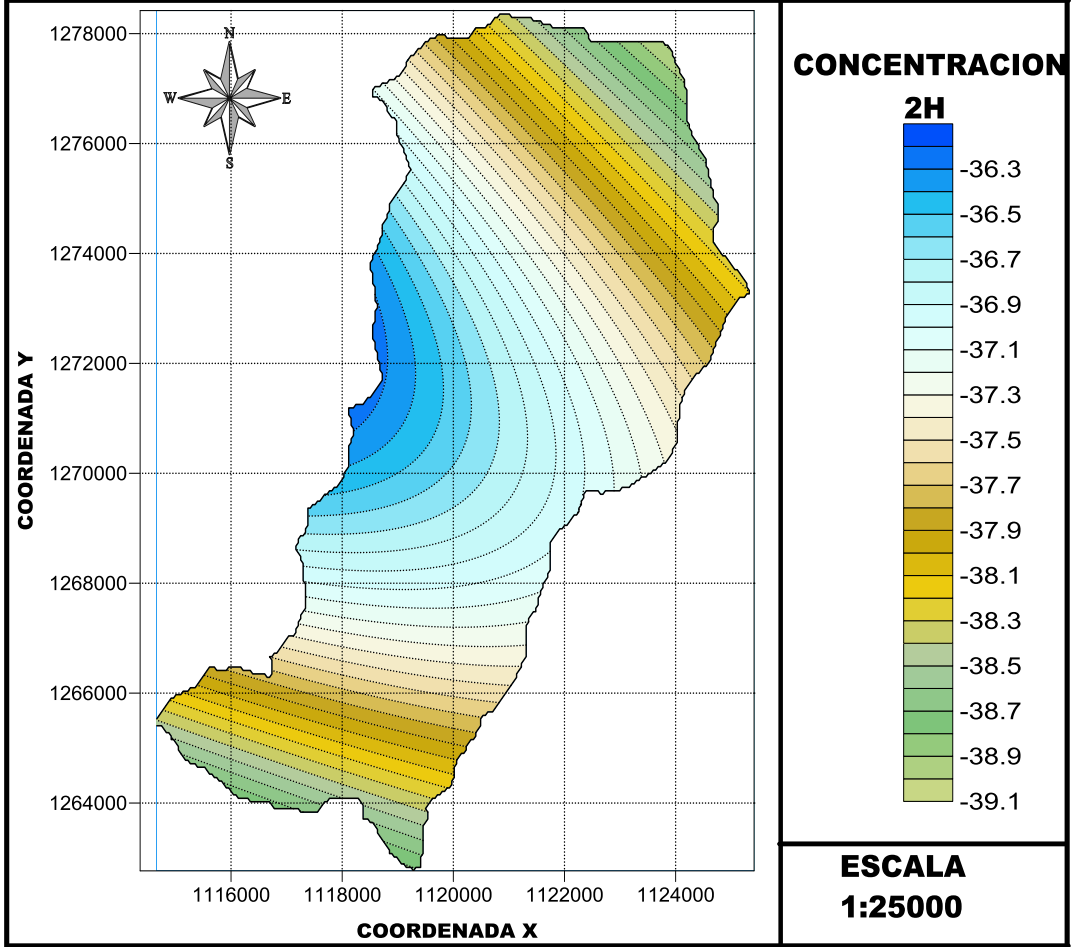
 <p>Universidad Industrial de Santander</p>			<p>Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego</p>	<p>Revisado: Sully Gomez Isidro</p>
--	---	---	--	--

ESPAIALIZACION DE DEUTERIO EN LA EPOCA HUMEDA 1 DEL 2005



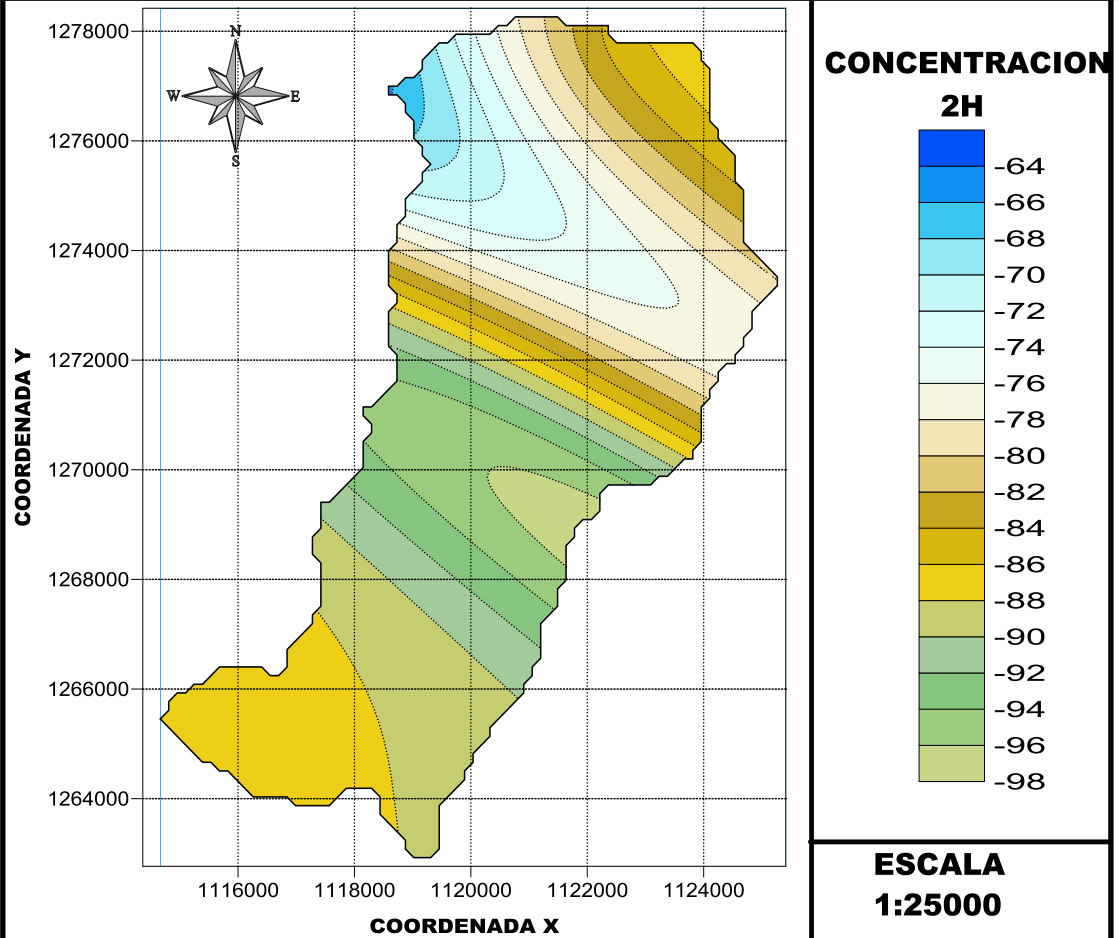
 <p>Universidad Industrial de Santander</p>			<p>Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego</p>	<p>Revisado: Sully Gomez Isidro</p>
--	---	---	--	--

ESPACIALIZACION DE DEUTERIO EN LA EPOCA HUMEDA 2 DEL 2005



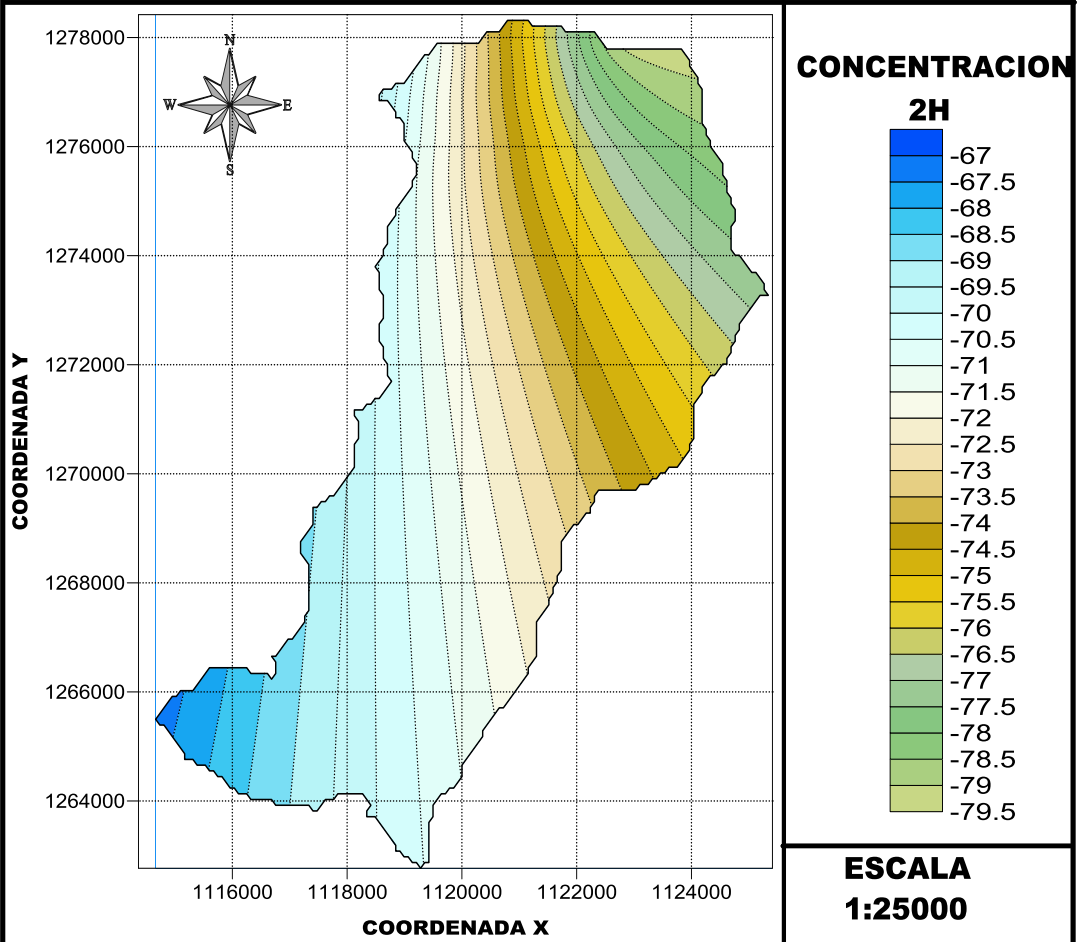
 <p style="font-size: small;">Universidad Industrial de Santander</p>	 <p style="font-size: small;">GPH - UIS</p>	<p>Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego</p>	<p>Revisado: Sully Gomez Isidro</p>
--	--	--	--

ESPACIALIZACION DE DEUTERIO EN LA EPOCA HUMEDA 1 DEL 2006



 <p>Universidad Industrial de Santander</p>	 <p>GPH - UIS</p>	<p>Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego</p>	<p>Revisado: Sully Gomez Isidro</p>
--	--	--	--

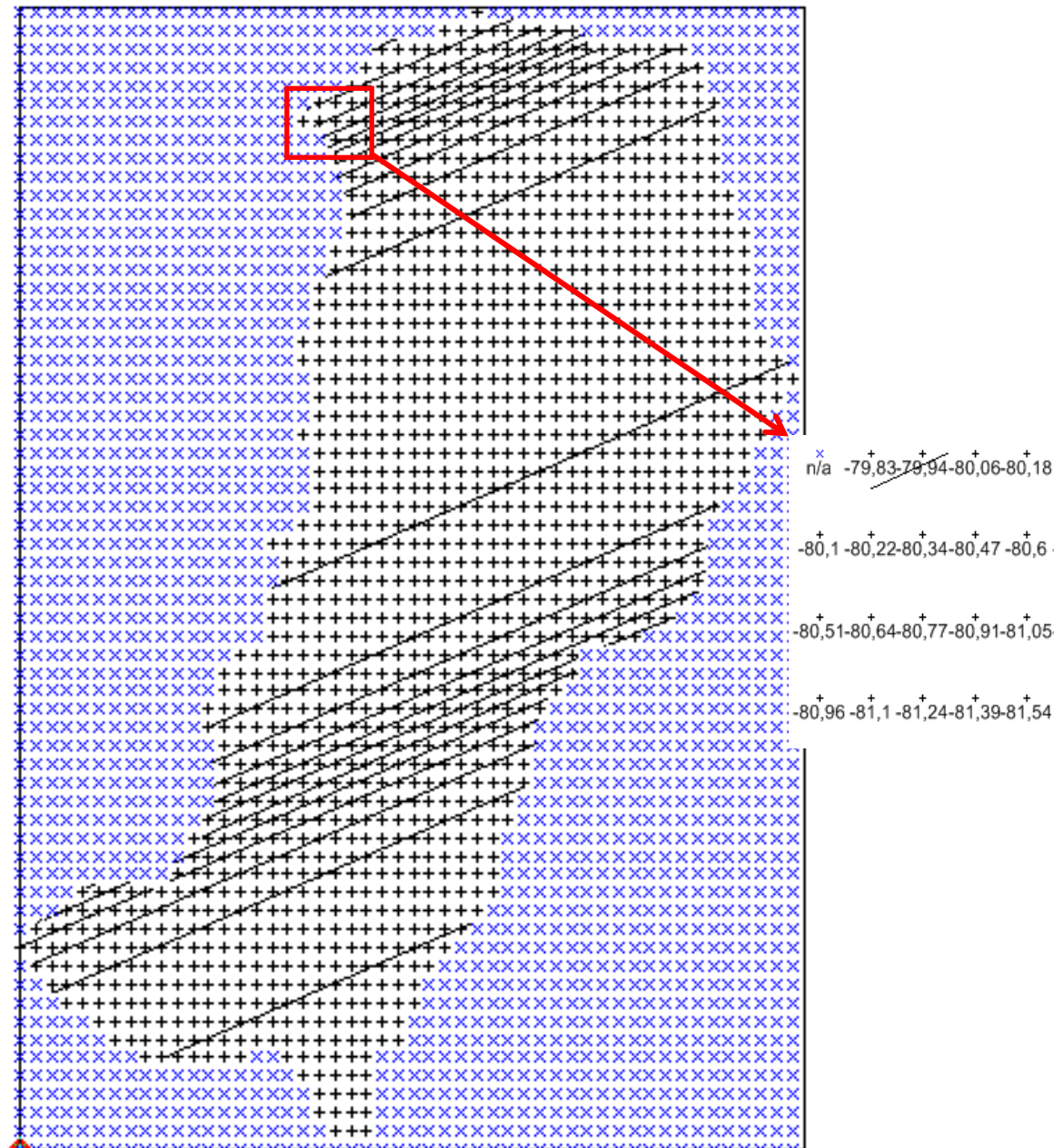
ESPACIALIZACION DE DEUTERIO EN LA EPOCA HUMEDA 2 DEL 2006

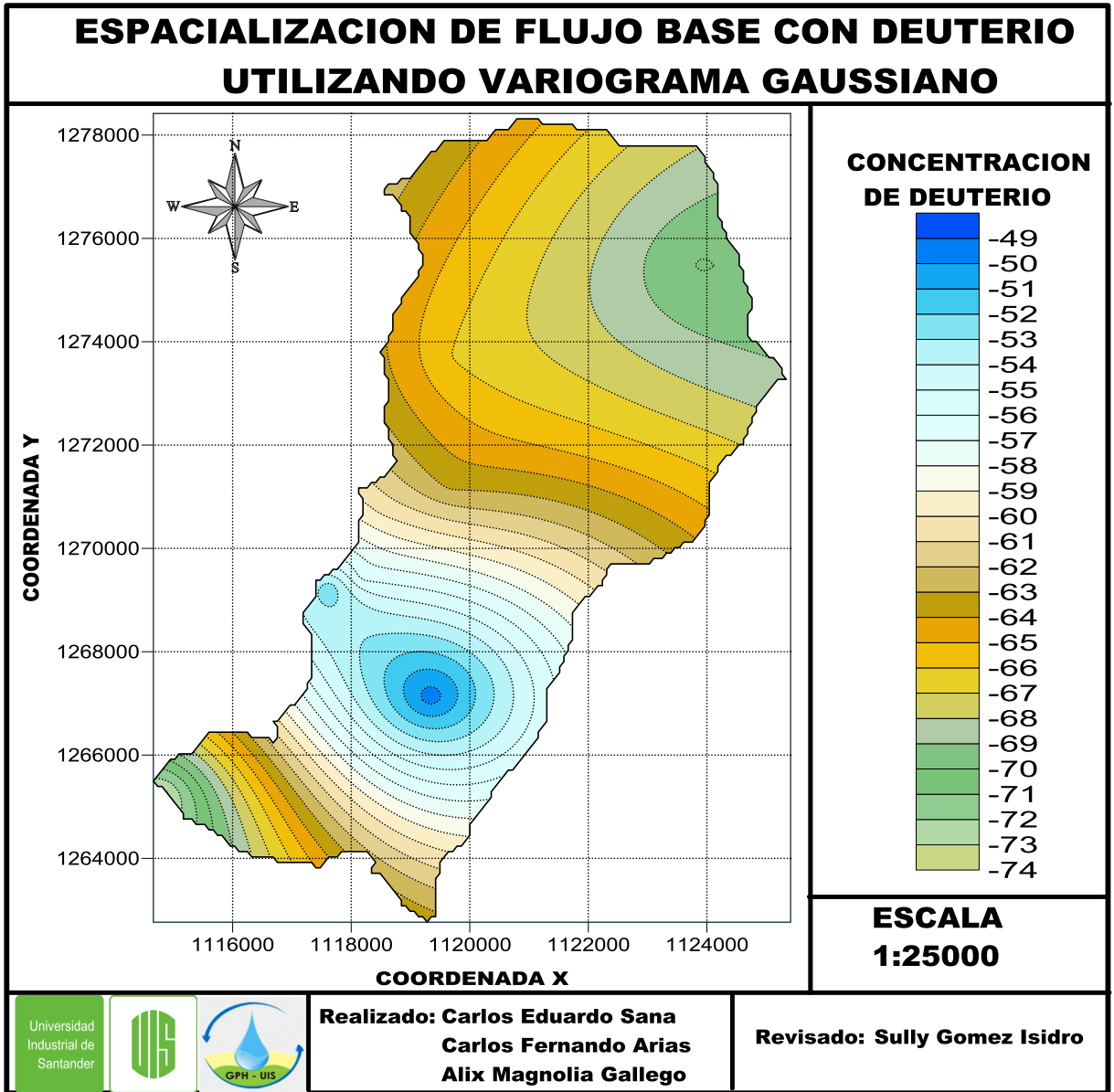


Realizado: Carlos Eduardo Sana
 Carlos Fernando Arias
 Alix Magnolia Gallego

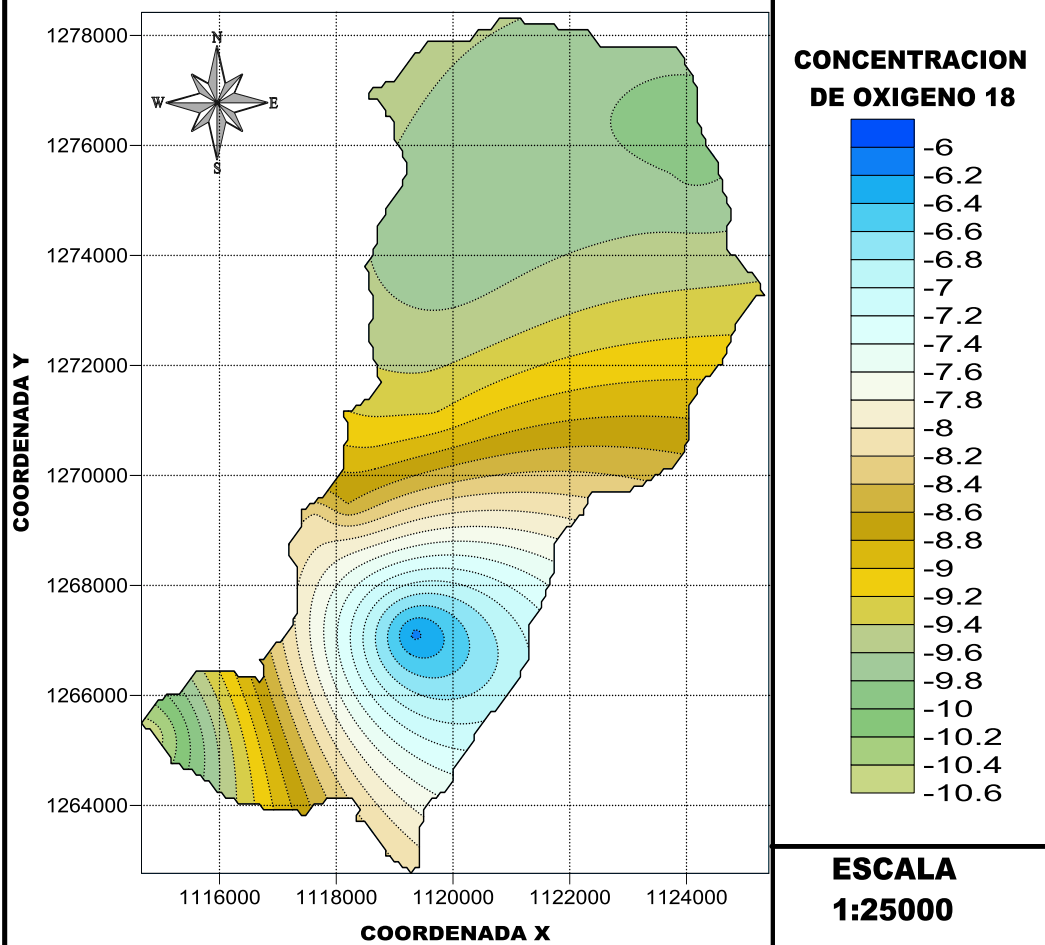
Revisado: Sully Gomez Isidro

Anexo P. Grilla de espacialización de isótopos de deuterio en la segunda temporada del 2004 precipitación con el valor de pixel en cada celda.





ESPACIALIZACION DE FLUJO BASE CON OXIGENO 18 UTILIZANDO VARIOGRAMA GAUSSIANO



	Realizado: Carlos Eduardo Sana Carlos Fernando Arias Alix Magnolia Gallego	Revisado: Sully Gomez Isidro
--	---	-------------------------------------

Anexo R. Datos estación el conquistador

Datos Conquistador		
fecha	O18	H2
11-ene-05	-9.24	-62.4
21-ene-05	-7.55	-49.0
27-ene-05	-9.11	-60.8
6-feb-05	-9.13	-61.1
13-feb-05	-8.84	-58.3
16-feb-05	-7.60	-49.1
22-feb-05	-8.90	-58.4
4-mar-05	-8.91	-59.0
13-mar-05	-8.94	-59.3
19-mar-05	-8.90	-58.9
24-mar-05	-8.93	-59.5
30-mar-05	-8.80	-57.5
10-abr-05	-8.86	-59.1
16-abr-05	-9.25	-62.2
21-abr-05	-9.20	-61.7
30-abr-05	-9.01	-60.7
2-may-05	-8.98	-59.9
15-may-05	-10.09	-67.8
16-may-05	-10.10	-68.8
26-may-05	-9.66	-65.4
3-jun-05	-9.47	-63.4
12-jun-05	-10.45	-72.9
18-jun-05	-9.55	-65.6
21-jun-05	-9.62	-65.5
2-jul-05	-9.46	-64.0
6-jul-05	-9.33	-63.1
16-jul-05	-9.59	-64.6
18-jul-05	-9.48	-63.5
26-jul-05	-9.40	-63.0
11-ago-05	-9.25	-62.6
12-ago-05	-9.27	-64.2
19-ago-05	-9.56	-66.6
27-ago-05	-9.22	-64.6
1-sep-05	-9.25	-64.0
10-sep-05	-9.12	-62.7
13-sep-05	-9.04	-61.8
19-sep-05	-8.95	-61.3
26-sep-05	-8.89	-59.5
4-oct-05	-9.05	-61.4
16-oct-05	-9.42	-63.6
17-oct-05	-9.54	-66.0
24-oct-05	-9.17	-61.5
3-nov-05	-9.30	-62.5
19-nov-05	-9.48	-63.9
26-nov-05	-9.60	-65.3
2-dic-05	-9.28	-62.9
6-dic-05	-9.19	-62.0
12-dic-05	-9.17	-62.1
19-dic-05	-9.16	-62.5
26-dic-05	-9.06	-61.4
06-ene-06	-9.11	-62.7
13-ene-06	-9.19	-63.2
21-ene-06	-9.05	-61.8
29-ene-06	-8.96	-61.0
31-ene-06	-8.91	-60.6

11-feb-06	-8.95	-60.9
19-feb-06	-8.99	-63.6
23-feb-06	-8.91	-62.4
02-mar-06	-8.57	-57.5
11-mar-06	-8.83	-62.2
17-mar-06	-8.86	-59.1
22-mar-06	-8.58	-57.8
02-abr-06	-8.82	-60.1
04-abr-06	-8.59	-56.9
11-abr-06	-8.60	-57.7
23-abr-06	-8.85	-59.3
25-abr-06	-8.54	-56.2
01-may-06	-7.25	-48.83
14-may-06	-8.88	-61.15
21-may-06	-10.49	-72.31
24-may-06	-10.27	-73.19
29-may-06	-9.48	-66.66
07-jun-06	-7.41	-51.33
17-jun-06	-9.54	-68.94
24-jun-06	-9.34	-65.27
01-jul-06	-12.09	-85.07
03-jul-06	-9.64	-68.11
13-jul-06	-9.47	-64.35
22-jul-06	-9.63	-64.81
26-jul-06	-10.07	-71.43
31-jul-06	-9.86	-68.67
16-sep-06	-9.32	-66.11
24-sep-06	-9.28	-64.25
02-oct-06	-9.15	-63.54
09-oct-06	-9.61	-66.41
21-oct-06	-9.58	-66.17
29-oct-06	-9.27	-64.67
04-nov-06	-9.76	-67.31
10-nov-06	-9.12	-62.05
13-nov-06	-8.76	-58.73
21-nov-06	-9.28	-64.36
02-dic-06	-8.8	-58.62
09-dic-06	-9.22	-62.88
11-dic-06	-8.78	-63.24
31-dic-06	-8.81	-63.18
9-ene-07	-8.29	-60.35
2-feb-07	-9.03	-61.18
9-feb-07	-10.13	-71.18
1-mar-07	-8.36	-62.01
11-mar-07	-8.33	-60.99

12-mar-07	-10.31	-74.52
20-mar-07	-9.28	-64.77
28-mar-07	-9.05	-64.03
10-jun-07	-7.47	-49.42
11-jun-07	-8.35	-56.52
23-jun-07	-8.06	-57.32
8-sep-07	-9.82	-64.64
11-sep-07	-9.42	-65.69
21-sep-07	-9.45	-65.02
23-sep-07	-9.58	-64.23
24-oct-07	-8.44	-55.71
31-oct-07	-8.36	-55.44
4-nov-07	-9.88	-66.94
8-nov-07	-9.21	-60.91
17-nov-07	-9.53	-64.9
20-nov-07	-9.4	-63.78
1-dic-07	-8.92	-60.57
8-dic-07	-8.79	-60.27
11-dic-07	-7.89	-55.49
17-dic-07	-9.32	-62.92
24-dic-07	-9.28	-61.55