

# ACTUALIZACIÓN DE LA RECARGA Y APROVECHAMIENTO DEL ACUÍFERO BRASILITO, SANTA CRUZ- GUANACASTE

---

JUNIO, 2023

*Aprobado en sesión extraordinaria del CTI-agua subterránea,  
efectuado el 30 de junio del 2023, CI-005-2023, acuerdo N°3.*

Elaborado:

Licda. Geol. Syra Carrillo Carrillo

Dirección de Agua-MINAE

Revisado

José Miguel Zeledón Calderón

Director

## ACRÓNIMOS

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

ASADA: Asociación administradora del Sistema de Acueducto y Alcantarillado comunal

CONIMBOCO: Comisión para el manejo integrado del Acuífero Nimboyores y Acuíferos Costeros de Santa Cruz”, creada por el decreto ejecutivo N° 41093-MINAE del 2018.

CTI-Agua subterránea: Comisión Técnica Interinstitucional para la gestión del Agua Subterránea, creada por el Decreto N°42929-MINAE-MAG del 2021

DA: Dirección de Agua

ENOS: El Niño Oscilación del Sur, fenómeno meteorológico

IMN: Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica

LCRN: proyección cartográfica

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

USGS: Servicio geológico de los Estados Unidos de América, así identificado por sus siglas en inglés (United States geological service)

WFT: Método de Hidrograma de Pozos, así identificado por sus siglas en inglés (water table fluctuations)

## JUSTIFICACIÓN

El presente estudio de evaluación y actualización de recarga y aprovechamiento en el Acuífero Brasilito, se realiza en atención a los acuerdos generados en el marco de la Comisión CONIMBOCO en Asamblea general de Asociados celebrada en diciembre del 2021 y conforme oficio firmado en conjunto por los Jerarcas de MINAE, AyA y Senara No. DM-0032-2022, PRE-2022-00039 y SENARA-GG-0021-2022, se dispone sobre la necesidad de iniciar un proceso de reevaluación de la extracción de agua en los acuíferos costeros de Santa Cruz, tomando en consideración los balances operativos de las ASADAS y de los acueductos del AyA, así como la extracción de agua de concesionarios. De esta forma en el seno del CTI agua subterránea, se coordina para que las instituciones, realicen una evaluación de los acuíferos tomando como base la nueva información generada por varios años de monitoreo hoy disponible para la respectiva actualización de los balances de agua en los acuíferos, Brasilito, Potrero y Huacas-Tamarindo.

Conforme lo anterior, en reunión ordinaria del CTI efectuada mayo del 2022 acordó la distribución de los acuíferos, quedando la distribución de la siguiente forma:

- Acuífero Playa Brasilito: Dirección de Agua, DA-MINAE
- Acuífero Playa Potrero: Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, AyA
- Acuífero Huacas-Tamarindo: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento, Senara

## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Objetivos

#### 1.1.1 Objetivo General

Recalcular la disponibilidad hídrica del acuífero Playa Brasilito, a partir del análisis de los registros de niveles de agua, monitoreados por el CTI agua subterránea.

#### Objetivos específicos:

- Estimar la recarga en el acuífero Playa Brasilito, aplicando el Método de Hidrograma de Pozos, WFT por sus siglas en inglés (water table fluctuations)
- Aplicar la metodología WTF, para cada uno de los años en que se dispone de registro de monitoreo de nivel de agua.
- Actualizar la demanda de agua en el acuífero Playa Brasilito
- Analizar las condiciones de la recarga anual determinada respecto a los efectos de variabilidad climática.
- Realizar una correlación entre del efecto de la variabilidad climática y los resultados de recarga anual del Acuífero Playa Brasilito

### 1.2 Metodología

Para desarrollar el análisis de actualización de la recarga y actualización de la demanda en el acuífero Playa Brasilito, el CTI aguas subterráneas en reunión efectuadas el 17 de mayo y 18 de octubre ambas el año anterior acordó que se atendería por parte de esta Comisión, la actualización de la recarga y evaluación de la disponibilidad hídrica de los acuíferos Huacas-Tamarindo, Playa Potrero y Playa Brasilito, concertando la distribución de los acuíferos para su pronta atención, de la siguiente forma:

- Acuífero Playa Brasilito: Dirección de Agua, DA-MINAE
- Acuífero Playa Potrero: Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, AyA
- Acuífero Huacas-Tamarindo: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento, Senara

En atención a lo acordado en el seno de esta Comisión, para la actualización de las condiciones de recarga y disponibilidad hídrica en el acuífero Playa Brasilito, se tomaron las siguientes consideraciones:

- El análisis del comportamiento de la recarga de los acuíferos, se realizará mediante la Metodología de Hidrograma de Pozos descrita por Healy & Cook, 2002.
- Los valores de los parámetros y características del acuífero Playa Brasilito, procederán de la información aportada por Senara 2012 “Estudio Hidrogeológico de los acuíferos de Playa Potrero y Playa Brasilito: Diagnóstico del potencial de explotación y rendimiento sostenible del acuífero” (tipo de acuífero, espesor, descripción de la litología albergante, transmisividad, conductividad hidráulica, rendimiento específico, caracterización de suelos y aforos) y se actualizarán los siguientes aspectos conforme información disponible y requerimientos de la investigación (área del acuífero, variación de niveles, calidad, direcciones de flujo, uso de

suelo, gradiente hidráulico, límites y áreas de la litología, aprovechamientos de agua, información meteorológica, lámina de saturación, cálculo de la recarga) con su respectiva justificación y fuente de información.

Además, ha sido necesario realizar las siguientes actividades adicionales:

- ✓ Utilizando los registros de monitoreo de niveles estáticos de la red establecida por el CTI agua subterránea en el acuífero Playa Potrero, analizar las tendencias y comportamientos anuales e históricos para cada uno de los sitios de monitoreo.
- ✓ Aplicar la metodología WTF, para el cálculo de la estimación de la recarga en las diferentes unidades acuíferas, conforme las limitaciones propias de esta metodología y la disponibilidad de información.
- ✓ Analizar la disponibilidad hídrica conforme los resultados de recarga y la información de aprovechamientos en el área de interés.

### 1.3 Ubicación

El área de estudio se ubica en la cuenca de Playa Brasilito, distrito de Tempate-Santa Cruz, Guanacaste. Entre las coordenadas LCRN 264000-268000 latitud norte y 339000-343000 longitud este, en la hoja 1:50000 Matapalo del Instituto Geográfico Nacional. Posee un área total de 14,28 km<sup>2</sup>. (Fig. 1)

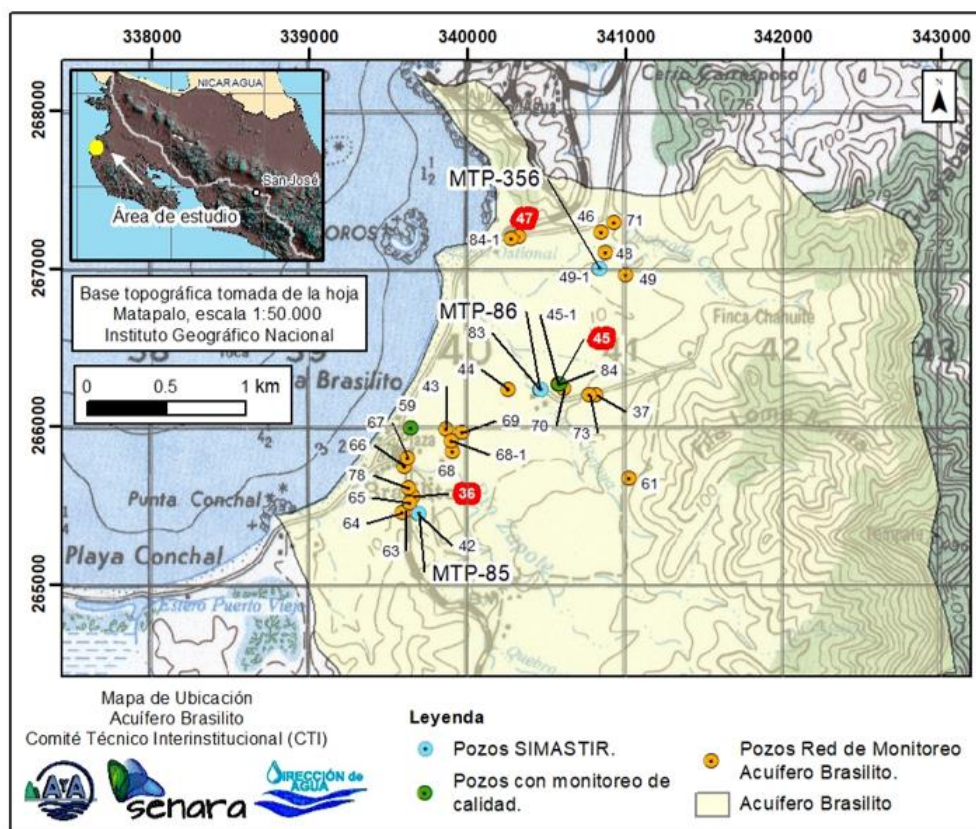


Fig.1. Mapa de ubicación del Acuífero Brasilito y red de monitoreo

---

## CAPITULO II: ASPECTOS GEOLÓGICOS

### 2.1 Geología regional

Conforme Denyer & Arias (1993), la zona de estudio presenta dos materiales geológicos principales (Fig. 2):

#### 2.1.1 Complejo Ofiolítico de Nicoya

El Complejo Ofiolítico se diferencia en dos unidades:

**Intrusivo Potrero:** compuesto por gabros, doleritas y algunos plagiogranitos. Los gabros se pueden encontrar como diques o sills, presentando una meteorización en forma de arenitización.

**Radiolaritas:** forman parte de la Unidad Matapalo o formación Punta Conchal. Son rocas pelágicas de grano fino a muy fino, estratificadas y con variedad de colores (rojo, verde, amarillo, blanco, gris y negro), se encuentran replegadas, con alto grado de fallamiento. Están asociadas con mineralizaciones de hierro y manganeso. Sobreyace en forma discontinua a la Unidad de Basaltos y es intruída por gabros y diabasas del Intrusivo Potrero.

#### 2.1.2 Depósitos recientes:

Constituido por sedimentos aluviales recientes que cubren gran parte de la geología regional, en el área de estudio no se registran espesores mayores a 15 m. Conforme la información aportada por Senara 2012, se presentan dos perfiles geológicos que caracterizan apropiadamente la estructura geológica de la zona de estudio

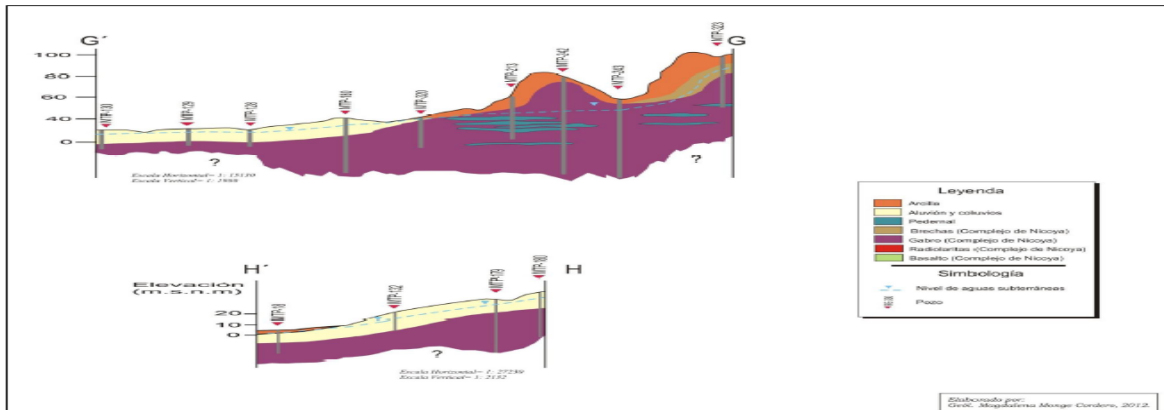
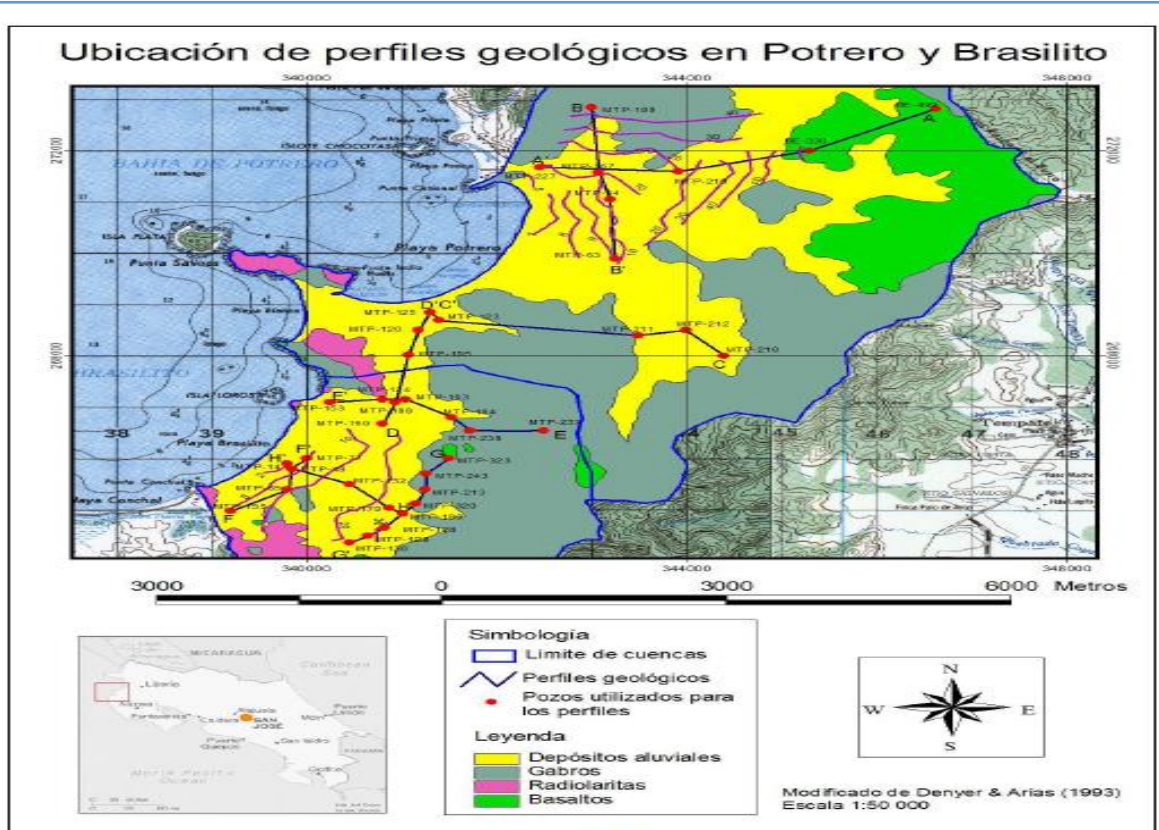


Fig.2. Mapa geológico y perfiles geológicos esquemáticos del acuífero Brasilito, Fuente Senara 2012,

### 2.3 Modelo Hidrogeológico Conceptual

En esta investigación se toma como base el modelo hidrogeológico presentado en el Informe de Senara 2012. En él se identifican y caracterizan 2 niveles albergantes los cuales tienen conexión entre sí, uno en aluviones y otro en gabros. De esta forma se establece y caracteriza que en la cuenca de estudio se desarrolla acuífero Playa Brasilito (Fig. 3).

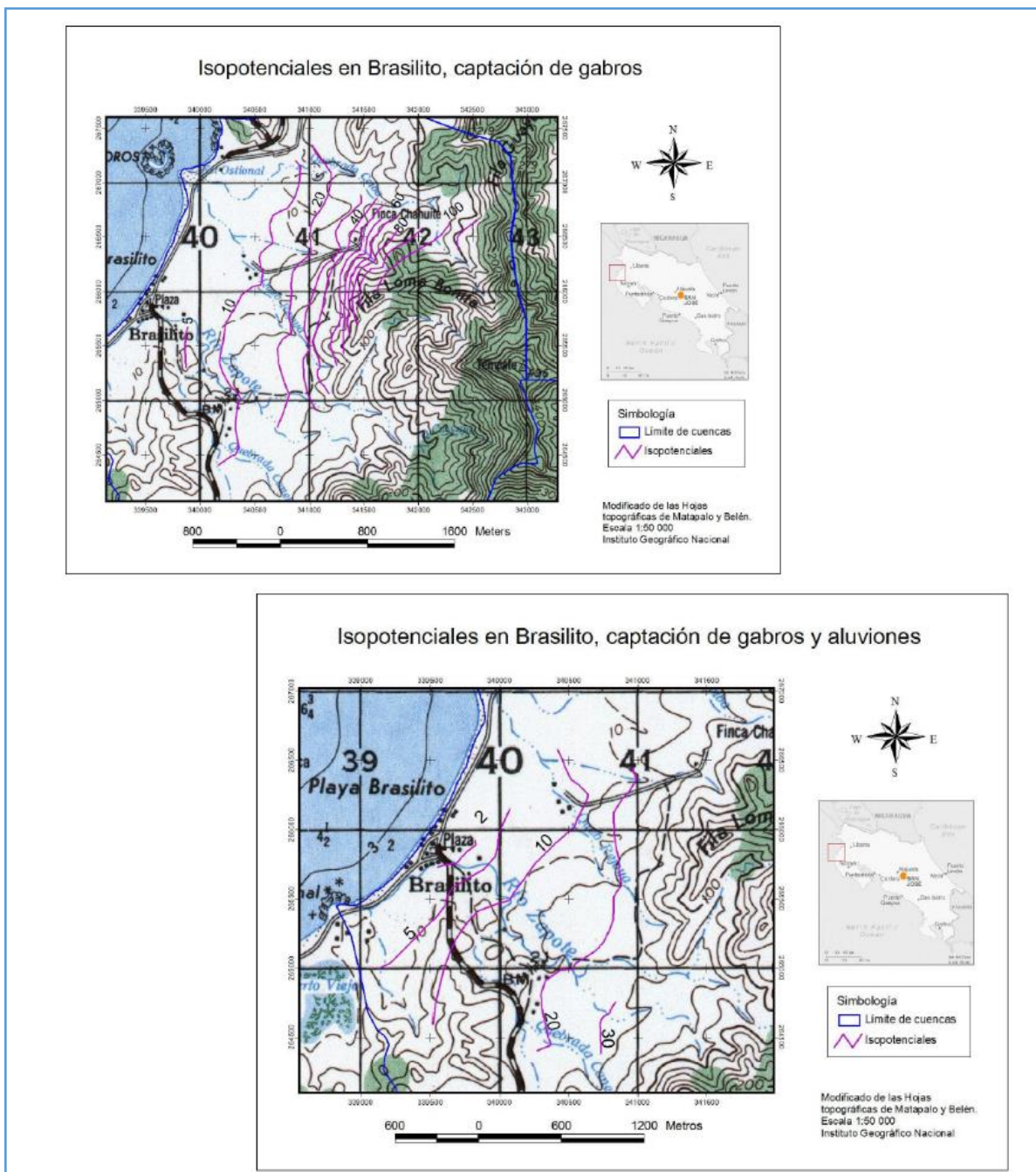


Fig.3 Isopotenciales correspondientes a pozos que captan el acuífero Brasilito. Fuente Senara 2012

### 2.3.1 Parámetros hidráulicos

Conforme reunión del CTI agua subterránea efectuada en octubre 2022, se acordó que serían utilizados los valores de los parámetros hidráulicos, aportados por Senara en el Estudio Hidrogeológico avalado por el CTI en el 2012. El cuadro 1, resume los valores teóricos de los parámetros a utilizar en esta actualización.

*Cuadro 1: Valores de los parámetros teóricos del acuífero Playa Brasilito (Senara, 2012)*

Parámetro	Acuífero Playa Brasilito	
Unidad albergante	Gabros	Aluviones
Tipo	Libre	libre
Espesor del acuífero	4-72 m	3-11
Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	370.28-1248	
	37.6-395.28	
Conductividad Hidráulica (m/d)	36.67-51.30	
	8.2-32.9	
Nivel freático (m prof)	5-112.2	4-11.5
	1.4-32.4	
Dirección de flujo	NW	W
	NW	
Gradiente Hidráulico	0.03-0.09	
	0.014-0.019	
Rendimiento específico	0.08	0.15
Área (m <sup>2</sup> )	8085394.16	6198017.97
Caudal de descarga al mar (l/s)*	47,97 – 49.58	

\*corresponde con la descarga por cada metro de la línea de costa.

### 2.4 Evaluación de contaminación por intrusión salina

El bombeo excesivo en los acuíferos costeros y/o el aumento del nivel del mar, entre otros factores, contribuyen a la intrusión salina. Dado que el agua salada no se puede utilizar para algunos procesos productivos, regar cultivos ni ser consumida por las personas, la intrusión de agua salada puede ser muy problemática para las comunidades costeras que dependen del suministro de agua dulce subterránea para su sustento. Es por esto que un conocimiento de las condiciones del sistema y un plan de explotación sustentable, son necesarias para definir estrategias de gestión adecuadas para proteger a todos los usuarios y sus fuentes de agua.

Conforme los resultados de la evaluación del agua subterránea en Costa Rica (USGS, 2019), el área donde se desarrolla el acuífero Brasilito presenta un potencial desarrollo de intrusión salina. En atención a esta problemática y como respuesta a la Resolución 20180022898 de la Sala Constitucional, como parte de las acciones acordadas en el CTI agua subterránea y ejecutado con personal y recursos económicos del AyA; se realiza un muestreo y análisis de la calidad físico-química y bacteriológica de las aguas del Acuífero Brasilito. El grado de salinización debido a la intrusión salina en el acuífero, se alerta principalmente con el aumento de la conductividad eléctrica y la alta concentración de cloruros. El detalle de los valores históricos de los registros de calidad de

agua reportados en los análisis realizados por el AyA en el acuífero Brasilito (Cuadros 2 y 3), pueden ser consultados en <http://www.da.go.cr/analisis-de-calidad-de-agua>

*Cuadro 2: Registros históricos de los muestreos de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) pertenecientes a la red de monitoreo de calidad de agua, que realiza el AyA (CTI, 2021)*

Código	Pozo	X	Y	08/08/2018	26/06/2019	21/07/2020	11/08/2021
Pozo 36	Hotel Nany	339662	265560	785	704	728	*
Pozo 37	Julio López 1	340820	266203	416	336	390	*
Pozo 59	ASADA Brasilito 1	339650	265992	461	438	450	455
Pozo 61	Catalina Cove 4	341030	265672	421	376	462	*
Pozo 67	Cabinas Olga	339630	265801	443	409	425	*
Pozo 83	ASADA Brasilito 2	340464	266235	569	526	564	585
Pozo 84	ASADA Brasilito Pozo 3	340592	266272	425	397	414	420

\*Pozo retirado de la red de monitoreo de calidad de agua para este acuífero, según se indica en el Acuerdo 07-21-14 de la Minuta CI-005-2021 de la CTI – Agua Subterránea.

*Cuadro 3: Registros históricos de los muestreos de cloruros ( $\text{mg}/\text{l}$ ) pertenecientes a la red de monitoreo de calidad de agua, que realiza el AyA (CTI, 2021)*

Código	Pozo	X	Y	08/08/2018	26/06/2019	21/07/2020	12/08/2021
Pozo 36	Hotel Nany	339662	265560	36.20	34.50	35.46	*
Pozo 37	Julio López 1	340820	266203	6.44	5.96	10.66	*
Pozo 59	ASADA Brasilito 1	339650	265992	12.22	12.33	9.87	9.55
Pozo 61	Catalina Cove 4	341030	265672	22.84	4.37	13.16	*
Pozo 67	Cabinas Olga	339630	265801	9.56	9.65	8.37	*
Pozo 83	ASADA Brasilito 2	340464	266235	14.44	13.22	16.77	22.15
Pozo 84	ASADA Brasilito Pozo 3	340592	266272	7.47	7.61	9.10	9.46

\*Pozo retirado de la red de monitoreo de calidad de agua para este acuífero, según se indica en el Acuerdo 07-21-14 de la Minuta CI-005-2021 de la CTI – Agua Subterránea.

La serie histórica de los registros anuales de conductividad efectuados por el AyA (Fig. 4), muestran que solamente los resultados del pozo Julio López se encuentran por debajo del valor de alerta establecido en el Reglamento de Calidad de Agua Potable DE-38924-S, mientras que el pozo Catalina Cove 4, se encuentra con valores muy cercanos a este límite, es importante indicar que éstos dos pozos captan el acuífero que se desarrolla en los materiales del Complejo de Nicoya; con relación a los pozos que captan el acuífero aluvial, los valores superan el valor de alerta establecido en el Reglamento de Calidad de Agua Potable DE-38924-S, por lo que la vulnerabilidad del acuífero a la intrusión salina adquiere especial relevancia.

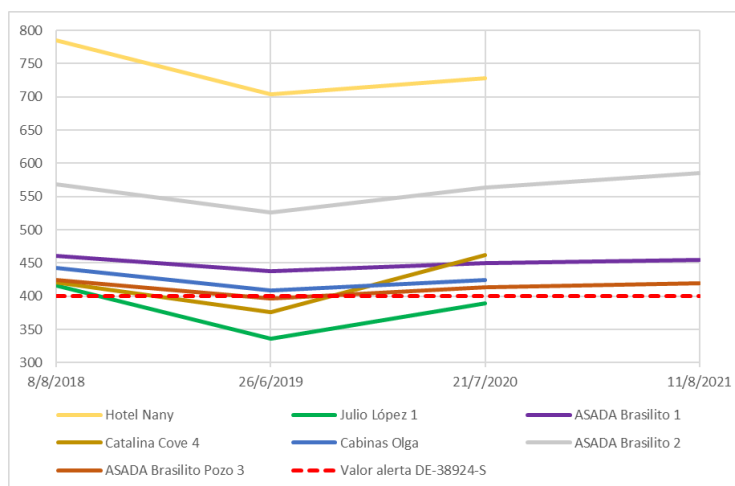


Fig. 4. Comportamiento grafico de las variaciones de los registros de conductividad eléctrica reportados en los análisis de calidad de agua efectuados por el AyA. (AyA 2019, AyA 2020, AyA 2021)

Tomando en consideración que el comportamiento de variación en la concentración de cloruros es un parámetro también utilizado para el seguimiento de la intrusión salina, se procede a revisar los registros históricos reportados por el AyA. No obstante, los valores se encuentran por debajo del máximo admisible establecido en el DE-38924-S (250 mg/l), se observa que en el caso de los pozos Catalina Cove 4 y Asada Brasilito 2 se registra un importante aumento del parámetro en el último año de medición.

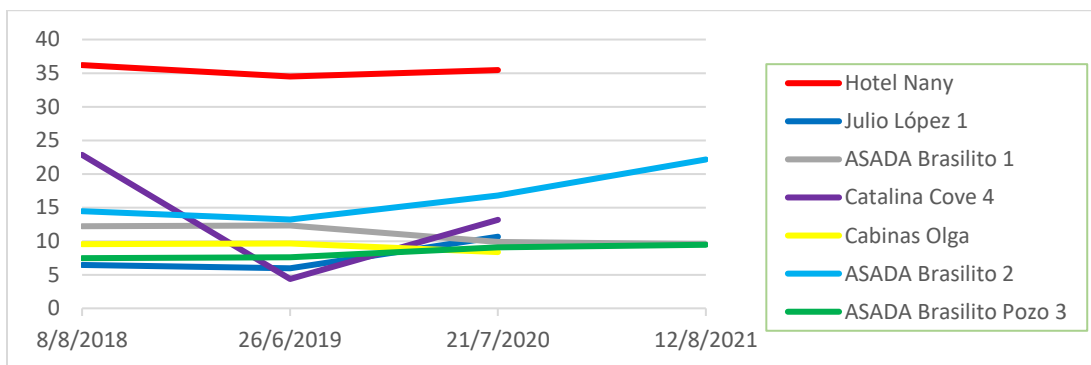


Fig. 5. Comportamiento grafico de las variaciones de los registros de cloruros reportados en los análisis de calidad de agua efectuados por el AyA. (AyA 2019, AyA 2020, AyA 2021)

Con el fin de disponer de un monitoreo continuo del comportamiento de los parámetros de control de las aguas subterráneas ante las variaciones climáticas, desde el 2016 la Dirección de Agua, desarrolla en el acuífero Brasilito el Sistema de Monitoreo de Aguas Subterráneas en Tiempo Real, Simastir; mediante el cual se registren de forma horaria las variaciones de los niveles de aguas subterráneas, la temperatura del agua y la conductividad eléctrica en algunos sitios seleccionados.

Los cuales muestran una alerta del comportamiento de los valores de conductividad en comparación con el valor de alerta establecido en el DE-38924-S (400 µS/cm), siendo el pozo MTP-85 (Fig. 6) que menores valores registra (350-450 µS/cm), registrando los mayores valores entre setiembre y octubre y una tendencia general decreciente, es importante indicar que este pozo capta el acuífero desarrollado

en los materiales del Complejo de Nicoya. El pozo MTP-356 (Fig. 7) registra valores en un rango entre 500-600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con una tendencia decreciente y aumentos de conductividad directamente relacionados con los aumentos de nivel de agua. Lo anterior puede ser generado debido a la disolución de sales presentes en la superficie y en la zona vadosa (transporte de minerales y compuestos disueltos hasta el acuífero) que, al ser transportadas por la recarga directa de las lluvias, se genera en el sitio de monitoreo un importante aporte de sales disueltas lo que ocasionaría el aumento en los valores de conductividad registrado. El pozo MTP 86 (Fig. 8) dispone de registros de monitoreo para el periodo comprendido desde el 21/06/2016 al 12/05/2022, siendo el parámetro de conductividad eléctrica monitoreado hasta el 09/04/2018. En este periodo de registro, la conductividad eléctrica presenta una tendencia histórica creciente, con los valores mas altos registrados (rango de 550-800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en el acuífero por la Red Simastir. Por lo cual se insta a la Dirección de Agua a reactivar el monitoreo de este parámetro en este sitio.

De esta forma se concluye que el impacto de las lluvias, la extracción, así como eventos climáticos extremos, generan importante influencia en el comportamiento del acuífero y las variaciones en la conductividad. Las gráficas generadas a partir de los registros de Simastir muestran datos continuos, lo que permite documentar de mejor manera el comportamiento del acuífero y sus parámetros.

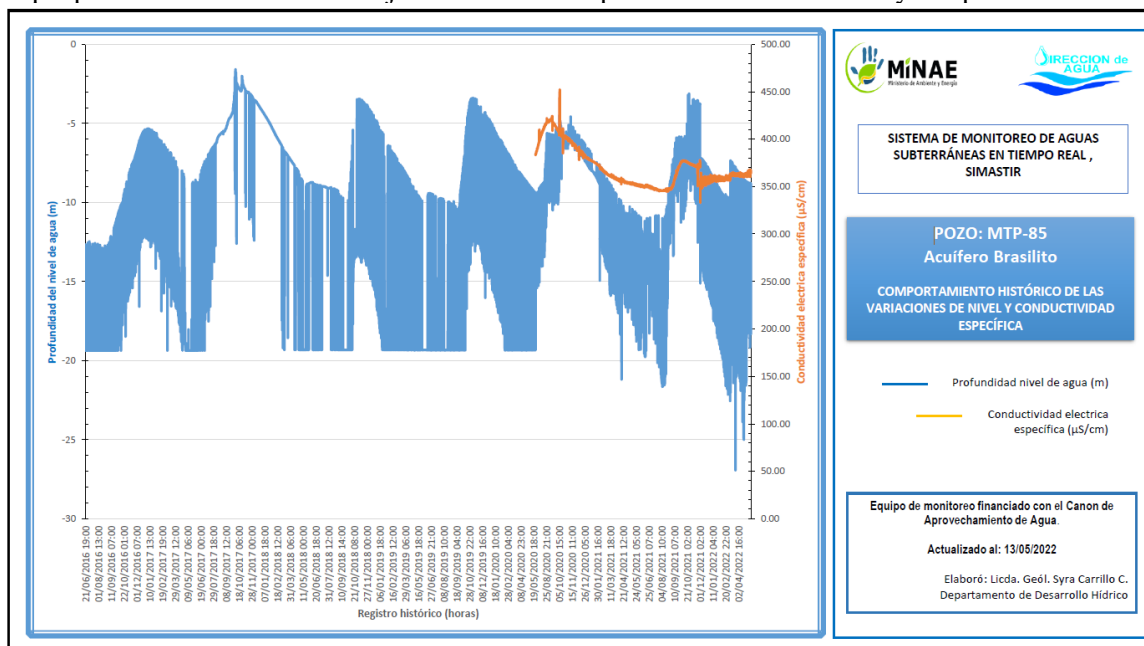


Fig. 6. Comportamiento horario de las variaciones de los registros de nivel y conductividad eléctrica registrados por Simastir, en el pozo MTP-85 (Lote Julio López).



Fig. 7. Comportamiento horario de las variaciones de los registros de nivel y conductividad eléctrica registrados por Simastir, en el pozo MTP-356 (Asada Brasilito 2 “Terciopelo”).

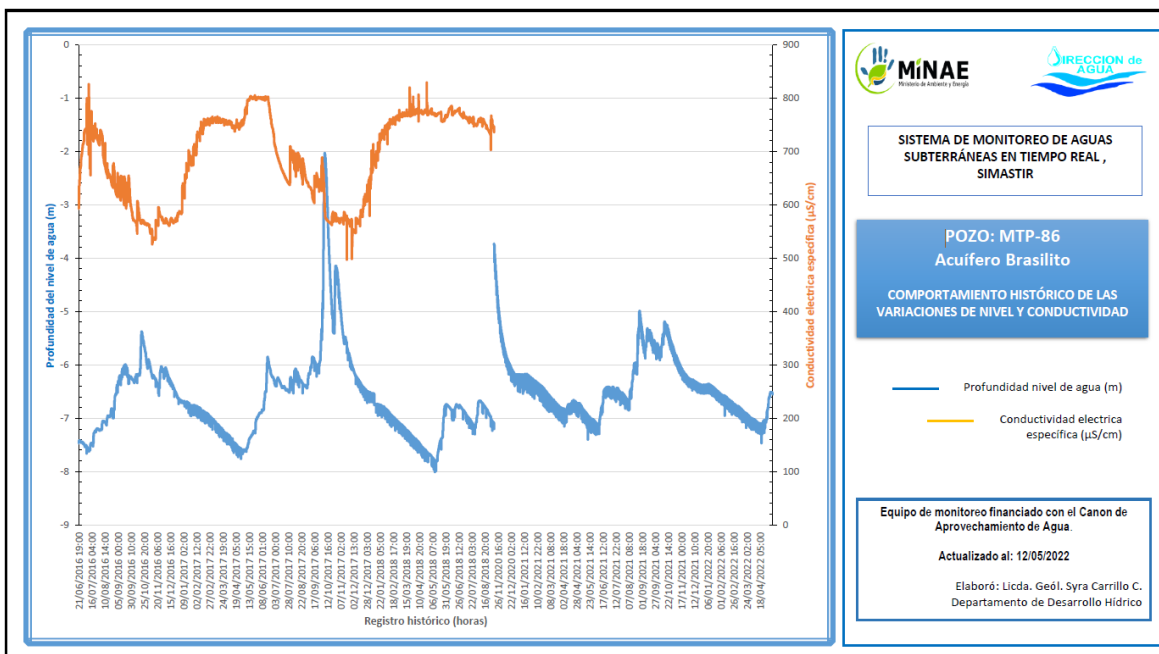


Fig. 8. Comportamiento horario de las variaciones de los registros de nivel y conductividad eléctrica registrados por Simastir, en el pozo MTP-86 (Hotel Nany).

Los registros históricos de los parámetros de alerta (conductividad eléctrica y cloruros) para control de intrusión salina en los pozos que captan el nivel aluvial del acuífero Brasilito, muestran una tendencia de valores crecientes, sin embargo, se recomienda mantener el monitoreo de estos parámetros:

- En el periodo 2018-2021 el monitoreo de calidad de agua que realiza el AyA aporta mediciones anuales por sitio de monitoreo, pero a partir del 2021 solo se realizarán muestreos de calidad en los 3 pozos referidos a la Asada Brasilito, se recomienda que esta red de monitoreo sea ampliada a los pozos de las Asadas Marvista y Las Palmas y con ello disponer de una adecuada representatividad de red ante una eventual contaminación por intrusión salina. Así también se solicita que esta información sea compartida al CTI agua subterránea, para la toma de decisiones respecto al apropiado manejo y gestión del acuífero.
- La Dirección de Agua debe realizar las gestiones necesarias para continuar con las mediciones de conductividad eléctrica en los pozos MTP-86 y MTP-356, los cuales documentan el comportamiento en el nivel aluvial de acuífero Brasilito.
- Conforme los resultados históricos registrados, la Dirección de Agua, debe realizar proceda a efectuar el control y seguimiento ante el riesgo de intrusión salina conforme lo establece el artículo 35 del DE-43053-MINAE.

### CAPITULO 3: DATOS CLIMATOLÓGICOS

Conforme la distribución fisiográfica y climatológica definida por el Instituto Meteorológico Nacional, IMN; el área de estudio se localiza en la denominada Unidad Peninsular de la región Pacífico Norte; en ella la distribución mensual de la precipitación esta influenciada por los vientos, así como por las condiciones orográficas particulares.

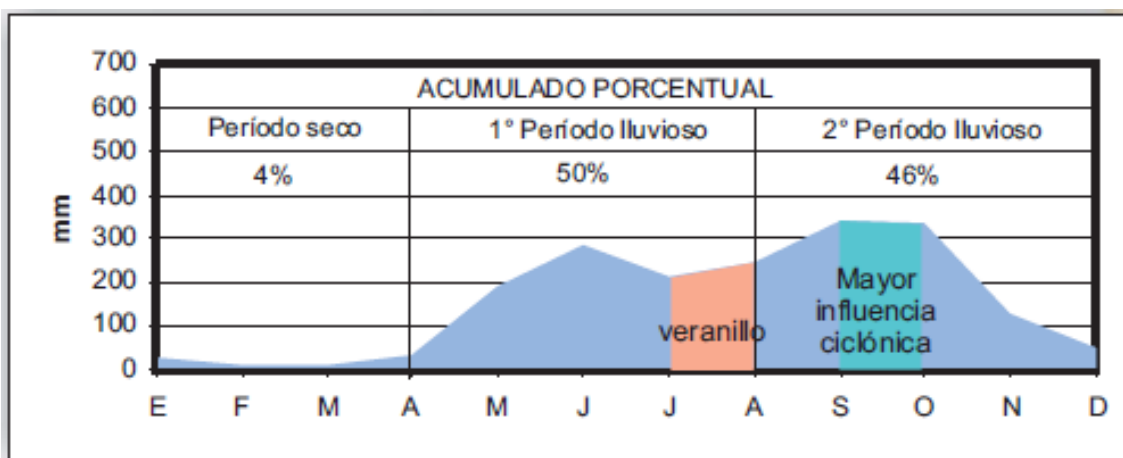


Fig. 9 Comportamiento de la Precipitación promedio de la región Pacífico norte de Costa Rica (1961-1990)  
 Fuente: IMN

Como se muestra en la figura 9, el IMN identifica que en la región Pacífico norte, el periodo seco va de diciembre a marzo y promedio precipita en este periodo el 4% del total de lluvia anual, durante este periodo los vientos alisios son predominantes, abril es un mes de transición y alrededor de la tercera semana del mes de mayo se inician las lluvias. El periodo lluvioso presenta dos ciclos. El primero va entre mayo y agosto cuando en promedio precipita el 50% del total anual. En junio ocurre el primer máximo de lluvia mediante tormentas locales y fuertes aguaceros. Entre julio y agosto los vientos alisios se intensifican y como consecuencia disminuyen las lluvias. Un segundo ciclo lluvioso se presenta de setiembre a noviembre. En los meses de setiembre y octubre se produce el mayor aporte de lluvia en este periodo, asociados a la influencia de eventos ciclónicos. Noviembre es el mes

de transición hacia el periodo seco. La precipitación anual en la zona es cercana a los 1900 mm, las temperaturas máximas durante el día promedian los 33°C y en la noche 22°C.

Fenómenos de variabilidad climática como las fases de ENOS (Niño, Niña) alteran el comportamiento normal del clima regional (Fig. 10). En promedio un evento extremo seco hace disminuir la precipitación de la zona en 417 mm, lo que representa un déficit del 26% anual. Por su parte los eventos extremos lluviosos aumentan la precipitación anual en 544 mm (28%).

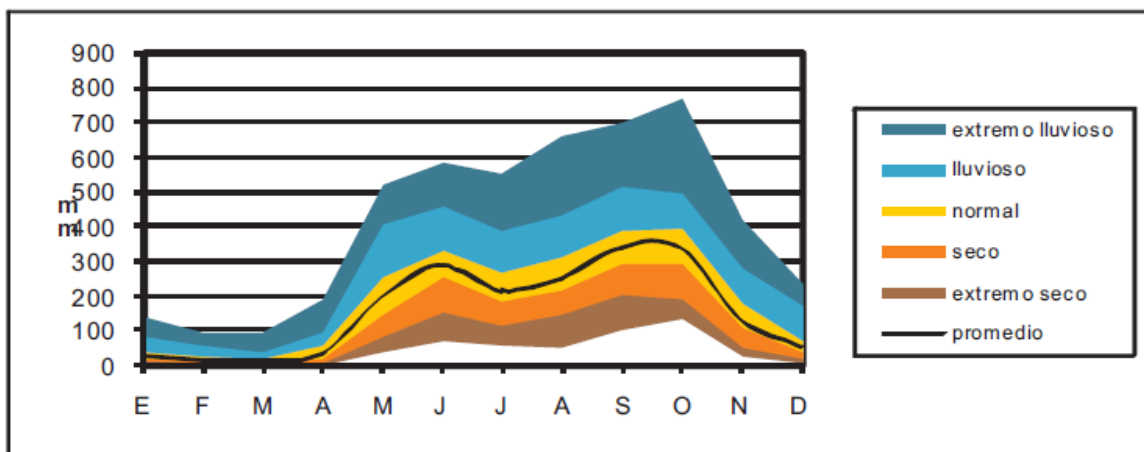


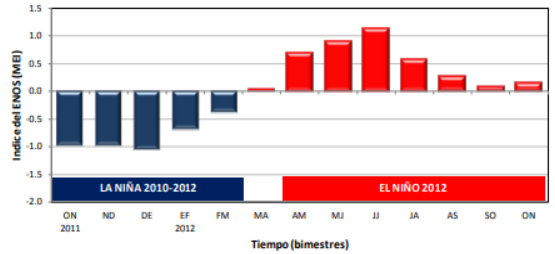
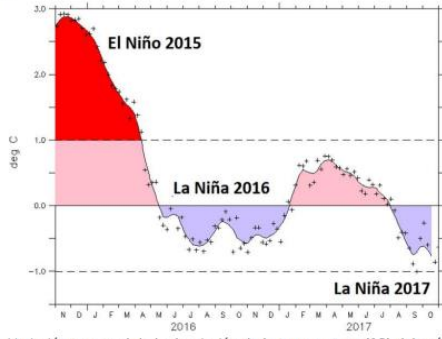
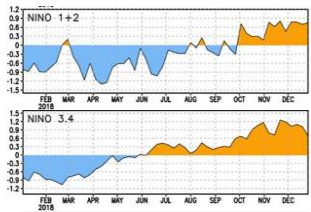
Fig. 10 Precipitación promedio en comparación con 5 rangos de variabilidad climática, Pacífico norte de Costa Rica (1961-1990). Fuente: IMN web site

Conforme ha sido valorado por el IMN para la región Pacífico Norte, el 79% de los eventos extremos secos están asociados con el fenómeno El Niño, mientras que la fase La Niña tiene un 60% de probabilidad de producir un escenario lluvioso en el área.

Tomando como referencia la serie de boletines Enos, emitidos por el IMN y la disponibilidad de registros de monitoreo de niveles en el acuífero Playa Brasilito. Mediante el cuadro 4 se resumen para el periodo de análisis las condiciones climáticas, cuyos eventos alteraron el comportamiento normal de las lluvias.

Cuadro 4. Resumen de las variaciones climáticas más importantes identificadas por el IMN, que caracterizan el periodo de análisis de los registros de niveles.

AÑO	Fase	Condiciones Climáticas (Fuente: Boletines Enos, reportes CNE)
2011	Niña	<p>La Niña del 2010-2011 ha sido la más intensa desde 1975.</p> <p>El actual fenómeno de la Niña se presentó dos fases de evolución, la primera y más intensa se registró entre junio del 2010 y mayo del 2011, seguido de un breve periodo neutral de dos meses (entre junio y julio), luego la segunda etapa que comenzó en agosto del 2011 y persiste en la actualidad con una intensidad moderada. El impacto climático de la reaparición de la Niña se percibió más claramente a partir de octubre y dio origen al <b>Huracán Rina</b>.</p>

2012	Niño	 <p><b>Figura 2.</b> Evolución del Índice Multivariado del ENOS (MEI). Fuente: Wolter and Timlin, (1993), Earth System Research Laboratory/Physical Sciences Division, NOAA.</p>
2016	Transición / Niña	<p>Las condiciones de noviembre fueron muy lluviosas en todo el país, debido al efecto mutuo del calentamiento en el mar Caribe y el desarrollo de la Niña. Sin duda ambos forzantes también estuvieron muy relacionados con el desarrollo del <b>Huracán Otto</b>, que afectó fuertemente al país entre en este mes.</p>
2017	Niña	 <p><b>Figura 2.</b> Variación temporal de la desviación de la temperatura (°C) del océano Pacífico ecuatorial. Se aprecian las magnitudes del calentamiento de El Niño 2015, así como el enfriamiento de las Niñas del 2016 y 2017. Nótese que el enfriamiento de del evento del 2017 parece ser ligeramente mayor al del 2016.</p>
2018	Neutro/ transición	<p>La evolución temporal del índice de temperatura oceánico (Niño3.4 y Niño1+2, figura 1) muestra el episodio de la Niña que finalizó entre abril y julio del 2018, seguido de un periodo de relativa normalidad hasta setiembre, momento en el cual se produjo la transición de lo frío a lo cálido, sin embargo, nótese el fuerte aumento desde finales de setiembre hasta un aparente máximo en noviembre. En la región Niño3.4 se presentó una disminución en diciembre, no así en la región Niño1+2 que se mantuvo estable. No obstante, en octubre una tormenta tropical afectó con inundaciones el área de estudio</p>  <p><b>Figura 1.</b> Variación temporal del índice Niño3.4 y Niño1+2 entre enero y diciembre del 2018. Fuente: CPC-NCEP-NOAA.</p>
2019	Neutro	<p>En noviembre, el IMN midió un déficit de lluvias de un 65% en la provincia de Guanacaste</p> <p>El fenómeno ENOS (versión convencional) permanece en fase de neutralidad desde el mes de julio pesar de que el índice de Oscilación de Sur persiste con valores negativos. Por otro lado, el Niño Modoki que se desarrolló posteriormente entre agosto y noviembre, ya está en proceso de disipación (figura 1), por lo que prácticamente en a final del año no existe ningún fenómeno ENOS activo.</p>
2020	Niña	<p>Con la configuración térmica de los océanos que se ha manifestado en el 2020 se han presentado lluvias extremas en la Vertiente del Pacífico, con un 38% más lluvia que lo normal.</p>

2021	Niña	La variabilidad climática está fuertemente modulada por La Niña, el sobrecalentamiento del mar Caribe y los frentes fríos; lo cual ocasionará una época seca más lluviosa de lo normal en el Pacífico Norte
		Se presentaron inundaciones recurrentes en la zona a partir de julio 2021 y durante toda la fase lluviosa.
2022	Niña	Se mantuvo el acople entre el océano y la atmósfera en relación con el fenómeno ENOS, de tal modo que se mantiene La Niña,
		Se presentó la Tormenta Tropical Bonnie, junio 2022 y el Huracán Julia en octubre 2022

Es importante indicar que, en el periodo comprendido entre el ene2013-jun2016, el CTI agua subterránea suspendió el monitoreo de niveles en los acuíferos costeros de Santa Cruz, coincidiendo lamentablemente con uno de los periodos más intensos registrados de influencia del evento El Niño. Conforme lo reportado por el IMN, este evento 2015-2016 de “El Niño” fue más intenso que los de 1982-1983 y 1997-1998, en el caso particular del índice Niño3.4, según se aprecia en la siguiente figura.

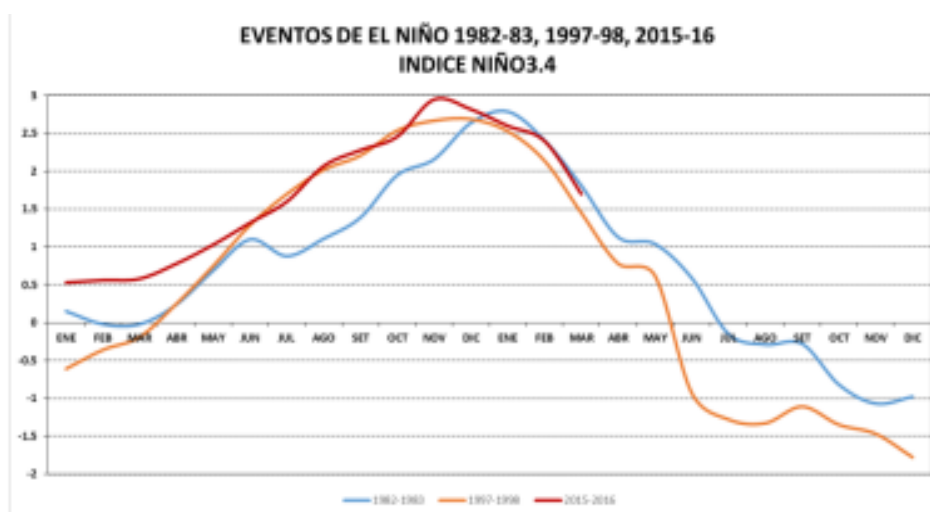


Fig. 11 Comparación del índice Niño 3.4 para los eventos de El Niño de 1982-83, 1997-98 y 2015-16. (IMN, Boletín ENOS 2015).

A nivel nacional existen varias investigaciones referidas a la disponibilidad del agua y los posibles efectos del cambio climático. En esta investigación se procederá a realizar una correlación entre del efecto que estos eventos de variabilidad climática pueden haber influenciado en los resultados de recarga anual del Acuífero Playa Brasilito.

En el estudio del Senara en el 2012, debido a los objetivos y disponibilidad de parámetros, se utilizó la estación Santa Cruz del IMN. Sin embargo, muy cercanas a la zona de estudio (Cuadro 2) se ubican varias estaciones meteorológicas. Cuyos registros, en su mayoría poseen validación por parte del IMN. (Fig 12).

Cuadro 5. Información base de estaciones meteorológicas y validación por parte del IMN de los registros

Numero	Nombre	Operador	Ubicación LCRN		Periodo Registro		Promedio anual acumulado de todo el registro (mm)
			Latitud	Longitud	inicio	fin	
74018	Cartagena	Senara	262349	352298	06/05/1968	31/12/2021	1827.96
72169	Potrero (Senara) / Matapalo (IMN)	Senara	270090	344610	01/01/2003	31/12/2021	1835.80
74053	Santa Cruz	IMN	252065	362163	09/03/1995	10/07/2022	1599.10

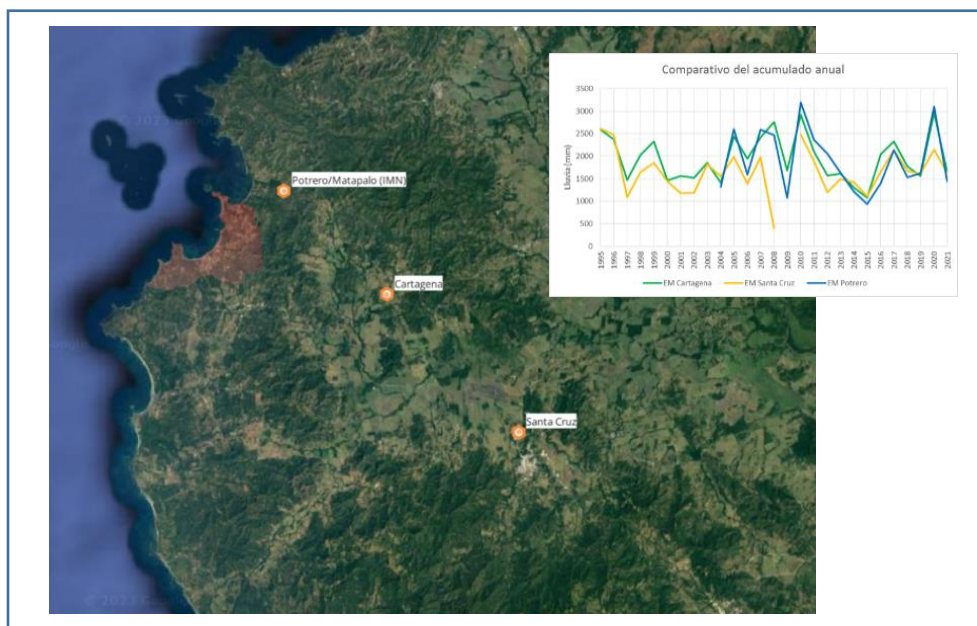


Fig.12 Distribución espacial de las estaciones meteorológicas y comparativo histórico de lluvias. (Fuente de registros: IMN, Senara)

A partir de la cercanía a la zona de estudio, las condiciones fisiográficas de la zona de investigación y los requisitos de información meteorológica base para aplicar la metodología WTF y por tener una mejor aproximación al comportamiento de las lluvias en el área de interés, se utilizarán en este análisis los registros de lluvia pertenecientes a la estación meteorológica No. 72169 Potrero/Matapalo, esta representa el comportamiento de las lluvias en la zona de estudio, debido que se encuentra ubicada muy cercana al acuífero Brasilito, sus registros históricos se encuentran dentro del periodo de análisis (2010-2022) por lo que aportarán los registros de precipitación más representativas para la evaluación del porcentaje de recarga al acuífero.

Es de indicar que el promedio de acumulado anual de lluvia de todo el registro en Estación meteorológica Potrero/Matapalo es de 1835.80 mm, siendo dentro del periodo de análisis de recarga WTF, el año 2019 el más cercano al promedio (Fig. 13).

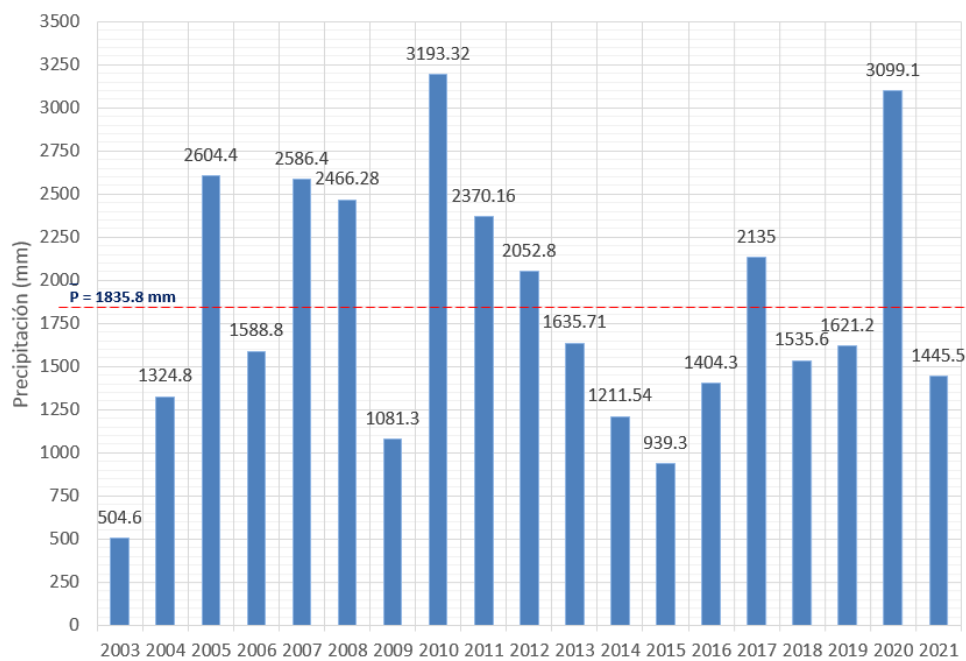


Fig 13. Comportamiento histórico del acumulado anual de lluvia (registros diarios, mm), Estación Meteorológica Potrero/Matapalo, Fuente de registros: IMN-Senara

#### CAPITULO 4. INVENTARIO DE LA EXTRACCIÓN MEDIANTE POZOS

Con el fin de tener una visión integral de la distribución de los aprovechamientos registrados dentro del acuífero, se realiza una revisión a la información registrada en el Registro Nacional de Concesiones que administra la Dirección de Agua, el levantamiento de campo realizado por la Oficina de Liberia de la Unidad Hidrológica Tempisque en el marco de Conimboco y a la información disponible de informes finales de perforación (IFP) y armado de los pozos, los resultados de esta revisión se presentan a continuación:

##### Distribución de los pozos conforme los niveles de acuífero aprovechados

Como fue indicado anteriormente, en la zona de estudio, se han identificado dos niveles principales que conforman el acuífero Playa Brasilito (Depósitos sedimentarios aluviones y Complejo de Nicoya). Mediante la información aportada en los informes finales de perforación y los armados de pozos, disponible en la Dirección de Agua, ha sido posible clasificar los pozos registrados conforme el nivel captado. No obstante, existe un grupo de pozos que no disponen de reportes (litología, armado), por lo que se identifica un tercer grupo.

A continuación, se indica la clasificación efectuada respecto a los pozos inscritos

**Aluvión y Mezcla:** en su IFP reportan captar aluvión, mezcla o son artesanales: todos los artesanales, MTP-18, MTP-58, MTP-58, MTP-63, MTP-129, MTP-128, MTP-13, MTP-130, MTP-127, MTP-62, MTP-71, MTP-107, MTP-103, MTP-106, MTP-124, MTP-123, MTP-125, MTP-119, MTP-152, MTP-151, MTP-153, MTP-163, MTP-164, MTP-165

**Pozos sin reporte litología y/o armado:** se hace referencia al número de expediente de concesión por no disponer de referencia el pozo: 429-R, 696-R, 1065-R, 5749-P, 5750-P, 5764-P, 6040-P, 6538-P, 6632-P, 5931-P, 8152-P, 9597-P, 10231-P, 10462-P, 10785-P, 15790-P, 15403-P, 16821-P, 17388-P, 17026-P, 6332-P, 16107-P, 17538-P, 18347-P, 12753-P.

**Complejo de Nicoya:** MTP-100, MTP-108, MTP-109, MTP-120, MTP-120, MTP-152, MTP-160, MTP-163, MTP-178, MTP-179, MTP-180, MTP-213, MTP-226, MTP-230, MTP-231, MTP-235, MTP-241, MTP-250, MTP-313, MTP-314, MTP-320, MTP-56, MTP-85

Para conocer el comportamiento del caudal de aprovechamiento a través del periodo de estudio (2010-2022). Se ha realizado una revisión de la información existente en la Dirección de Agua, con el fin de identificar las fechas de las solicitudes de permiso de perforación, reporte de la perforación, solicitud de inscripción / concesión, así como los caudales solicitados, inscritos y concesionados. Como resultado se obtiene el Cuadro 6, en el cual se evidencia la poca variación que ha presentado los aprovechamientos del acuífero a través del tiempo.

*Cuadro 6 Resumen de caudales concesionados (l/s) respecto a la unidad acuífera captada. (Fuente: Registro Nacional de Concesiones)*

Año	Concesión anual registrada en aluvión y mezcla (l/s)	Concesión anual registrada sin descripción litológica (l/s)	Concesión anual registrada en materiales del Complejo Nicoya (l/s)
2010	50.93	49.55	25.68
2011	50.93	49.55	25.68
2012	50.12	50.05	25.68
2013	50.12	50.05	25.68
2014	50.12	50.05	25.68
2015	50.12	50.05	25.68
2016	50.12	50.05	25.68
2017	50.12	53.05	25.68
2018	50.12	53.05	25.68
2019	58.19	53.05	25.68
2020	58.19	53.05	25.68
2021	58.19	53.05	25.68
2022	58.19	53.05	25.68

Del cuadro anterior, se concluye que en componente de extracción registrada del 2010 al 2022 no ha aumentado significativamente, de tal forma que la autorización de extracción de caudal no se identifica como un factor de presión por el agua, al contrario, se registra una relativa estabilidad, que se puede asociar a un efecto positivo a las disposiciones de detener nuevos permisos.

Con relación a los diferentes usos del agua existentes en el acuífero, la información aportada en mayo 2022 por la Unidad Hidrológica Tempisque, ha permitido realizar el desglose que se presenta en el Cuadro 7):

**Cuadro 7. Caudales (l/s) concesionados/inscritos para el aprovechamiento del agua subterránea**

Tipo	Cantidad de pozos	Caudal registrado/inscrito/uso reportado					
		Uso poblacional*	Agropecuario	Consumo Humano**	Industrial	Riego	Turismo
Perforado	<b>102</b>	43.19	0.36	18.06	0.45	15.53	56.86
Excavado	<b>14</b>			3.24		0.46	0.54
<b>Total</b>	<b>116</b>	<b>43.19</b>	<b>0.36</b>	<b>21.03</b>	<b>0.45</b>	<b>15.99</b>	<b>57.4</b>

\*aprovechamientos inscritos para entes operadores (AyA, Asadas)

\*\*incluye uso doméstico y autoabastecimiento en condominio

Como parte de las acciones establecidas bajo el plan de trabajo de CONIMBOCO, el personal de la Unidad Hidrológica Tempisque de la Dirección de Agua en compañía con otros miembros de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS) integrantes de la Comisión, un levantamiento de pozos ilegales del área del Acuífero Brasilito. Debido a los objetivos propios de la actividad, el reporte aportado por la Unidad Hidrogeológica Tempisque no indica

caudales estimados de aprovechamiento, sin embargo se está en proceso de estimar la cuantificación de potencial de extracción para dimensionar este flagelo, pero a la fecha de suscribir este estudio no está disponible, debe incluirse a futuro en la gestión del acuífero, siendo un caudal potencial rescatable que se valora en la metodología WTF, pero que puede ser aprovechado de forma legal.

El siguiente cuadro, presenta el resumen de los pozos no inscritos levantados y el estado de avance del proceso administrativo de sellado cuando corresponde

**Cuadro 8. Levantamiento de pozos sin permiso de perforación al aparato de CONIMBOCO**

Tipo	Cantidad de pozos	Uso reportado			Estado del proceso administrativo de sellado		
		Riego	Doméstico	No indicado	Notificación pendiente	Con expediente judicial	Sellado
Perforado	6	3	2	1	3	2	1
Excavado	4			3			1

Como parte de otro frente de acción de los dispuestos por los jefes del MINAE, AYA Y SENARA y siendo parte CONIMBOCO, la Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos del AyA, ha venido desarrollando una metodología que permita diagnosticar de forma integral el aprovechamiento que se realiza en los acuíferos costeros de Santa Cruz a través de los operadores (Asadas y AyA). Durante este proceso han generado información importante que se presenta en los informes AyA, 2022 y 2023, los cuales tienen como objetivo principal. “determinar la capacidad de abastecimiento de agua potable de los operadores considerando datos históricos de consumo y de producción, así como variables demográficas evaluando la cantidad de recurso hídrico disponible y la demanda requerida por cada sistema” (AyA, 2023, pág. 12). Con el fin de un claro entendimiento de las definiciones de los caudales de producción utilizados en el análisis, se extraen las siguientes definiciones:

**“Caudal concesionado:** considera la concesión de los pozos en operación, más el caudal asignado en la primera etapa del Proyecto Costero.

**Caudal Operativo:** Considera los volúmenes de producción por pozos más el aporte del acueducto costero en temporada alta.” Fuente: AyA, 2023 págs. 9 y 10.

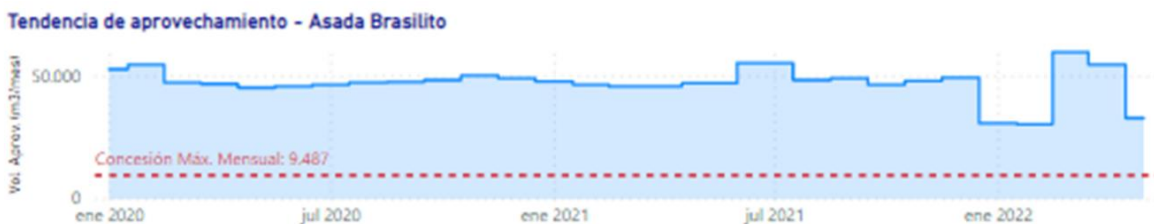
Entre los aportes más significativos de estos estudios ha sido el levantamiento de las fuentes de aprovechamiento, contabilización del volumen extraído y la proyección de demanda hídrica de cada uno de los sistemas de acueducto operados por las ASADAS y AyA. Se ha procedido a realizar una revisión de esta información cruzada con las fuentes registradas en el Registro Nacional de Concesiones, así también se ha tomado en cuenta la proyección de la demanda indicada en los informes del AyA, y el caudal inscrito, parte de los resultados de esta revisión, se presentan a continuación

Conforme se indica en el informe del AyA, 2023; en el Acuífero Brasilito, se encuentran las Asadas Brasilito, Marvista y Las Palmas, con una cantidad estimada de 760 servicios para un equivalente de 2250 habitantes.:

- *Asada Brasilito*

### Condición actual de las fuentes de aprovechamiento reportadas, Asada Brasilito

Conforme los datos suministrados en el Informe AyA, 2022; el sistema del acueducto que administra la Asada Brasilito, presenta una mayor demanda hídrica, respecto a lo inscrito (Fig. 14 )



Nota: “La concesión máxima mensual ha sido calculada por en AyA, 2022 a partir de la concesión en l/s convertida a m3/mes, aplicando periodo de bombeo máximo de 24 horas y por 30 días al mes”

**Fig. 14 Tendencia del aprovechamiento del acueducto administrado por la Asada Brasilito (Fuente: AyA, 2022)**

Al realizar un control cruzado entre la información de las fuentes de abastecimiento reportadas en AyA, 2022 y el Registro Nacional de Concesiones que administra la Dirección de Agua, se identifica que:

- **Pozo MTP-160 (Pozo 3):** la concesión existente es de 4.5 l/s bajo el expediente 11868-P, con concesión de un privado, con usos autorizados: turismo, riego, consumo humano; se indica en el informe AyA que es aprovechado en un caudal de 3.1 l/s en favor de la ASADA Brasilito.
- **Pozo “principal”:** se encuentra registrado a nombre del AyA (exp. 696-R; 3.6 l/s); sin embargo, AyA reporta un aprovechamiento de 4.82 l/s para la ASADA Brasilito
- **Pozo 2 Terciopelo (MTP-356).** Registrado bajo el expediente 17026-P, administrativo de concesión en custodia de la Dirección de Agua, y que forma parte del sistema de monitoreo de aguas subterráneas. Fue autorizado el uso por parte de la Asada Brasilito como un pozo de investigación por encontrarse fuera de operación. En el informe AyA indica en aprovechamiento por parte de la Asada con un caudal de 2.1 l/s.

Como parte de la revisión efectuada, se concluye que el acueducto que administra la Asada Brasilito, no posee concesiones registradas en el Registro Nacional de Concesiones, fuentes o caudales inscritos, que les autoricen los aprovechamientos reportados por el AyA. Este aspecto debe procesarse y atenderse de forma especial y conforme los resultados de disponibilidad de agua que arroje el estudio, en tanto se trata de agua para la población y que actualmente se abastece a partir de los pozos supra citados, incluyendo un pozo de propiedad provada de un tercero.

### Análisis de proyección de demanda, Asada Brasilito

Para una ágil visualización de la proyección de la demanda, presentada en el informe del AyA 2023, en la figura 15 se muestra el comportamiento de los valores presentados en este informe, relacionados con la demanda proyectada, respecto al caudal de extracción indicado en AyA, 2021 y el caudal operativo. Conforme es indicado en AyA 2022 el caudal operativo reportado considera los volúmenes de producción por pozo más el aporte del acueducto costero en temporada alta.

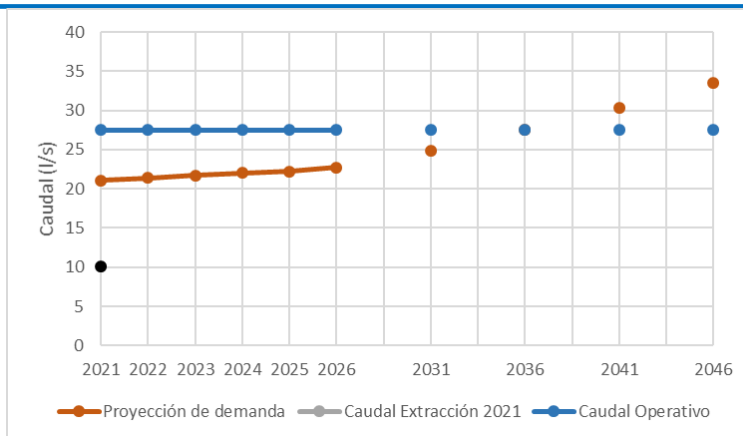


Fig.15. Proyección de la condición de la disponibilidad hídrica del Acueducto Playa Brasilito, con una ventana temporal al 2046 (Fuente de datos, AyA 2022 y 2023)

Conforme la información suministrada en los informes supra citados del AyA, mediante la información indicada con el caudal operativo, se contempla con aporte del Acueducto Regional Costero de Santa Cruz satisfacer las necesidades hídricas proyectadas del acueducto administrado por la Asada Brasilito hasta el 2036, por lo que se dispone de una ventana temporal de 13 años, para identificar y disponer de fuentes alternativas que satisfagan las necesidades hídricas. Sin embargo, es importante indicar que el caudal de extracción 2021 reportado (10.02 l/s) de la ASADA Brasilito, debe ser debidamente inscrito ante la Dirección de Agua, atendiendo lo establecido en la legislación vigente.

### Asada Marvista

#### Condición actual de las fuentes de aprovechamiento reportadas, Asada Marvista

Conforme los datos suministrados en el Informe AyA, 2022; y la información disponible en el Registro nacional de Concesiones, el sistema del acueducto que administra la Asada Marvista, presenta una menor demanda hídrica, respecto al caudal inscrito



Nota: “La concesión máxima mensual ha sido calculada por en AyA, 2022 a partir de la concesión en l/s convertida a m3/mes, aplicando periodo de bombeo máximo de 24 horas y por 30 días al mes”

Fig. 16 Tendencia del aprovechamiento del acueducto administrado por la Asada Marvista (Fuente: AyA, 2022)

Al realizar un control cruzado entre la información de las fuentes de abastecimiento reportadas en AyA, 2022 y el Registro Nacional de Concesiones que administra la Dirección de Agua, se identifica que la Asada requiere justificar técnicamente ante la Dirección de Agua la necesidad de mantener registrados los caudales del pozo 2 (La Esquina) y pozo 3 (Los Pastos) que se reportan fuera de operación en los Informes del AyA, pero que tienen inscrito un caudal de 4.3 l/s y 4.5 l/s

respectivamente. Así también el remanente del pozo 1 (4.6 l/s), que también se reporta como no utilizado.

### Análisis de proyección de demanda, Asada Marvista

La Figura 17 muestra el comportamiento de los valores presentados en este informe, relacionados con la demanda proyectada, respecto al caudal de extracción indicado en AyA, 2021 y el caudal operativo. Conforme es indicado en AyA 2022 el caudal operativo reportado considera los volúmenes de producción por pozos más el aporte del acueducto costero en temporada alta

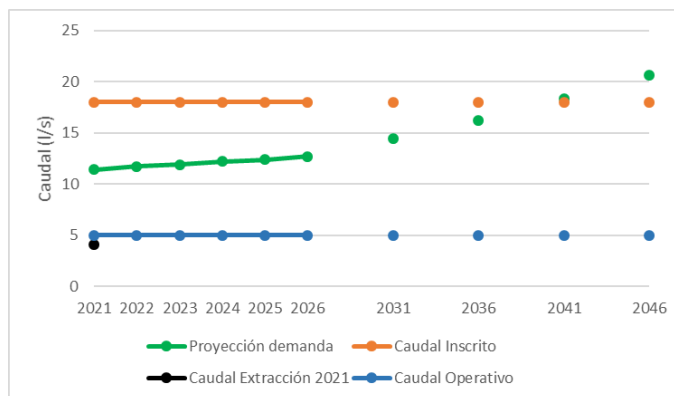


Fig. 17. Proyección de la condición de la disponibilidad hídrica del Acueducto Asada Marvista, con una ventana temporal al 2046 (Fuente de datos, AyA 2022 y 2023)

A partir del análisis del comportamiento de los datos reportados en AyA 2023, haciendo la salvedad que el caudal registrado en el registro Nacional de Concesiones es de 18 l/s y no de 9.2 l/s (este es el caudal concesionado al pozo 1), se observa que hasta el 2041 la proyección de requerimiento hídrico, se encuentra satisfecha con el caudal concesionado. Por tanto, se dispone de una ventana temporal de 18 años, para identificar fuentes alternas para suplir los requerimientos estimados por el AyA 2023.

### Asada Las Palmas

#### Condición actual de las fuentes de aprovechamiento reportadas, Asada Las Palmas

Conforme los datos suministrados en el Informe AyA, 2022; y la información disponible en el Registro nacional de Concesiones, el sistema del acueducto que administra la Asada Las Palmas, presenta una menor demanda hídrica (15 l/s), respecto al caudal inscrito (21.59 l/s). Sin embargo es importante indicar lo siguiente, respecto a las fuentes reportadas:

- El pozo MTP-344 (P1-mangos), posee concesionado un caudal de 0.20 l/s, sin embargo, AyA 2022 reporta un aprovechamiento de 5.50, lo que indica un aprovechamiento superior al concesionado de 5.3 l/s.
- El pozo 4 Cocobolo posee concesionado un caudal de 21.0 l/s. El AyA reporta un aprovechamiento de 9.50 l/s, lo que indica un aprovechamiento menor al concesionado de 11.5 l/s
- Los pozos P1, MTP-213, sin nombre, Sahino, Terraza se registran en el exp. 429-R, a nombre de la Asada Las Palmas, sin embargo, no son citados en el informe de AyA 2022.

- Bajo el expediente 16821-P a nombre de Asada Las Palmas se registra una solicitud nueva de fuente de aprovechamiento.

No obstante, el caudal inscrito es mayor al caudal aprovechado (Fig. 18), se deben atender las observaciones previamente indicadas y proceder a ordenar los aprovechamientos sin detrimento de afectación ambiental y registro de fuentes.

Tendencia de aprovechamiento - Asada Las Palmas

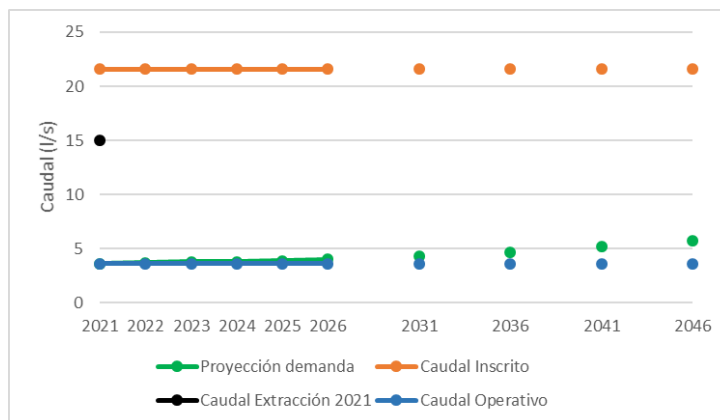


Nota: “La concesión máxima mensual ha sido calculada por en AyA, 2022 a partir de la concesión en l/s convertida a m3/mes, aplicando periodo de bombeo máximo de 24 horas y por 30 días al mes”

**Fig. 18 Tendencia del aprovechamiento del acueducto administrado por la Asada Marvista (Fuente: AyA, 2022)**

### Análisis de proyección de demanda, Asada Las Palmas

La Figura 19 muestra los datos del comportamiento de los valores presentados en este informe, relacionados con la demanda Proyectada, respecto al caudal de extracción indicado en AyA, 2021 y el caudal operativo. Conforme es indicado en AyA 2022 el caudal operativo reportado considera los volúmenes de producción por pozos más el aporte del acueducto costero en temporada alta



**Fig. 19. Proyección de la condición de la disponibilidad hídrica del Acueducto Asada Las Palmas, con una ventana temporal al 2046 (Fuente de datos, AyA 2022 y 2023)**

A partir del análisis del comportamiento de los datos de proyección reportados en AyA 2023, se observa que hasta el 2046 la proyección de requerimiento hídrico, se encuentra satisfecha con el caudal concesionado y en el 2046 se reporta un excedente de 15.5 l/s respecto al caudal concesionado. Por lo que puede considerarse que este es un caudal recuperable al acuífero.

En cuanto a la demanda de agua y el agua disponible registrada o identificada en extracción en campo, según de detalló en este capítulo para los tres entes operadores, ASADAS Brasilito, Marvista y Las

Palmas, para las dos últimas es necesario profundizar en el análisis de esta demanda, pues se identifican como ASADAS que operan territorialmente mediante áreas asociadas a proyectos inmobiliarios, donde a diferencia de la Asada de Brasilito que enfrenta un crecimiento vegetativo natural de la población del lugar más la población temporal en época de vacaciones, podría tenerse en la Asada Las Palmas y Marvista una demanda de agua controlada, este asunto se recoge en las recomendaciones finales.

## CAPITULO 5 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE HIDROGRAMA DE POZOS

La metodología WTF (por sus siglas en inglés), conforme lo indica Healy & Cook, 2002 es muy utilizada para la estimación de la recarga de acuíferos que poseen una red de monitoreo representativa, debido que ofrece un enfoque simple de un fenómeno muy complejo como es el movimiento del agua en el subsuelo.

$$R(t_j) = S_y * \Delta h(t_j)$$

Donde:  $R(t_j)$ : es la recarga que se presenta entre el tiempo  $t_0$  y  $t_j$ ,  
 $S_y$  es el coeficiente de almacenamiento del acuífero  
 $\Delta H(t_j)$  es la diferencia de niveles de agua,

Entre los aspectos favorables de aplicar este método se encuentra su facilidad de uso y que no requiere supuestos sobre los mecanismos de movimiento del agua subterránea. Además, sus resultados pueden ser aplicados en áreas de algunos, cientos o miles de metros cuadrados. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que su mejor aplicación es para acuíferos libres con niveles freáticos poco profundos y que solo es capaz de estimar la recarga cuando el agua está llegando al nivel freático a una tasa mayor que la extracción.

Entre las limitaciones existentes para la aplicación de la metodología se indica:

- Se asume que los orígenes de las fluctuaciones del nivel de agua se deben únicamente a la llegada de la recarga en el nivel freático y no son generadas por aire atrapado, cambios en la presión barométrica, evapotranspiración u otros fenómenos.
- El disponer de un valor adecuado y representativo del rendimiento específico es difícil, lo cual afecta el resultado.
- No se consideran los valores de la recarga que se presenta aun cuando el Hidrograma muestra que los niveles de agua disminuyen.
- No considera los valores de recarga cuando la tasa de extracción es igual que la de recarga, debido que no se producen variaciones en el nivel.
- Con relación a la aplicación del método WTF en rocas fracturadas, se presentan desafíos particulares, debido que las fracturas son conductos primarios de movimiento del agua, pero poseen un pequeño porcentaje de almacenamiento disponible. Por tanto, el valor del rendimiento específico toma especial relevancia en el análisis.

El cálculo de la estimación de la recarga mediante el Método WTF, requiere determinar cada una de las diferencias de medición entre un pico de ascenso del nivel estático y el nivel más bajo de la curva de recesión antecedente extrapolada en el momento del pico de ascenso ( $\Delta h$ ). La curva de recesión antecedente corresponde con la traza que habría seguido el Hidrograma del pozo en ausencia de la

precipitación (Fig. 20). A mayor periodo de registros, deberían poder identificarse mayor cantidad de curvas de recesión.

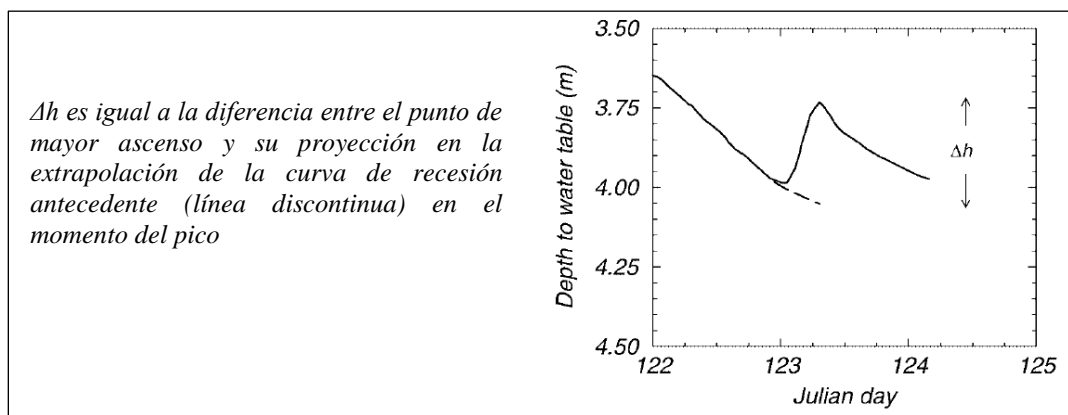


Fig. 20. Comportamiento hipotético del nivel del agua en un pozo en respuesta a la lluvia, para explicar la determinación del  $\Delta h$  (Healy & Cook, 2002)

La extrapolación de la curva de recesión no siempre es sencilla. En la metodología WTF, la bibliografía internacional nos muestra que se pueden utilizar dos enfoques para estimar el  $\Delta h$ , (USGS, s.f):

- Extrapolación gráfica:** las curvas de recesión antecedentes se extrapolan manualmente sobre la base de la inspección visual de todo el conjunto de datos.
- Cálculo a partir de una curva maestra de recesión (MRC):** es un procedimiento automatizado o semiautomático para calcular  $\Delta H(t_j)$  a partir de datos del nivel del agua. Este enfoque desarrolla una expresión para el MRC que se puede utilizar para predecir la pendiente del Hidrograma en ausencia de recarga. Una vez que se establece el MRC, las desviaciones positivas del Hidrograma del MRC se atribuyen a la recarga, lo que permite cuantificar la recarga incluso durante los períodos de descenso de los niveles de agua subterránea. Debido a la necesidad de datos diarios sobre el nivel del agua, el enfoque MRC solo se puede aplicar en sitios donde los niveles del agua se monitorearon continuamente.

### Registros de monitoreo de niveles

En el acuífero Playa Brasilito, desde diciembre del 2010, se desarrolla por parte del CTI agua subterránea, una red de monitoreo manual con periodicidad mensual de registro de niveles (Cuadro 4). Actualmente la red consta de 28 pozos de monitoreo, sin embargo, a partir del 2013, debido a diferentes condiciones (sellado, seco, negativa de uso por parte de los propietarios, entre otros), se han eliminado 13 sitios de la red. Es importante destacar que la revisión histórica de los registros muestra que la red presentó un periodo de inactividad entre 2013-junio 2016. De esta forma, en el 2016 el monitoreo manual se reanuda y a la fecha se encuentran activos 15 sitios de monitoreo.

Cuadro 9. Red manual de monitoreo de niveles, con periodicidad mensual de registro de datos. Acuífero Brasilito

Código	Condición	Nombre	Longitud LCRN	Latitud LCRN
Pozo 36	Activo	Hotel Nany	339662	265560
Pozo 37	Activo	Lote Julio López 1	340820	266203
Pozo 42	inactivo	Centro Rec – Licenciados 2	339692	265450

Pozo 43	inactivo	Carlos “Gato” Alfaro 1	339869	265984
Pozo 44	Activo	Lote Marcos Rojas (Llanta quemada)	340266	266236
Pozo 45	Activo	Carlos “Gato” Alfaro 3 piezómetro	340581	266269
Pozo 45-1	inactivo	Carlos “Gato” Alfaro 3 ASADA Brasilito 3	340581	266269
Pozo 46	inactivo	Carlos “Gato” Alfaro 4	340857	267233
Pozo 47	Activo	Carlos “Gato” Alfaro 5	340334	267206
Pozo 48	Activo	Carlos “Gato” Alfaro 6 Carrizuelo	340882	267099
Pozo 49	inactivo	Carlos “Gato” Alfaro 7	341012	266960
Pozo 61	Activo	Catalina Cove 4	341030	265672
Pozo 49-1	Activo	Carlos “Gato” Alfaro 7a	340843	267003
Pozo 63	inactivo	Team CRT 1	339619	265466
Pozo 64	inactivo	Team CRT 2	339593	265458
Pozo 65	Activo	Cabinas La Gloria	339638	265516
Pozo 66	inactivo	Hotel Brasilito	339607	265749
Pozo 67	Activo	Cabinas Olga	339630	265801
Pozo 68	inactivo	Hotel 5ta Esencia	339910	265841
Pozo 68-1	Activo	Hotel 5ta Esencia Nuevo	339906	265907
Pozo 69	Activo	Tico Adventure	339975	265961
Pozo 70	Activo	Carlos “Gato” Alfaro 2	340618	266241
Pozo 71	Activo	Carlos & Carlos Ristorante	340936	267291
Pozo 73	inactivo	Casa Allen López	340780	266204
Pozo 78	inactivo	Cabinas Ojos Azules	339631	265613
Pozo 83	Activo	ASADA Brasilito 2	340464	266235
Pozo 84	inactivo	ASADA Brasilito Pozo 3	350592	266272
Pozo 59	inactivo	ASADA Brasilito 1	339650	265992

### Análisis de los registros históricos de monitoreo de niveles estáticos

Para el cálculo de la estimación de la recarga mediante la metodología WTF, se utiliza la información registrada en los levantamientos del monitoreo manual de niveles que se realiza por parte del CTI agua subterránea, a la red definida para el acuífero Brasilito.

Atendiendo los acuerdos del CTI agua subterránea, se procede a realizar para cada sitio de monitoreo, un análisis anual de los registros históricos del nivel estático de la red definida para el acuífero Brasilito, aplicando la metodología WTF, con el fin de determinar los valores del cambio del almacenamiento ( $\Delta h$ ) y estimar la recarga anual.

Mediante la revisión inicial de las tendencias de los registros históricos de cada uno de los sitios de monitoreo en el acuífero Brasilito, es evidente que las fluctuaciones del nivel de agua presentan un patrón de acelerado crecimiento en los niveles y un decrecimiento paulatino, sin variación a ritmo constante. (Anexo 1, Registros históricos de la red de monitoreo).

Así mismo, se debe tomar en consideración que el uso de la aproximación gráfica para la determinación del  $\Delta h$ , en la estimación de la recarga mediante el método WTF, presenta importantes limitaciones, tales como:

- implica una mayor subjetividad en la definición de la curva de recesión,

- diferentes usuarios sin duda producirían curvas de recesión ligeramente diferentes,
- las diferencias en la definición de la curva de recesión se incrementan cuando los niveles de agua cambian rápidamente y los eventos de recarga generan variaciones muy cercanas.

Con el fin de lograr una la mejor representatividad de los resultados, en el cálculo del almacenamiento anual en los materiales coluvio-aluviales, se utilizaron los siguientes criterios:

- Previo a la consideración de los niveles estáticos, se realiza una revisión de los mismos respecto al registro histórico.
- El análisis de las tendencias en la época seca, estará determinado por el inicio de las lluvias.
- Ante ausencia de dato en los registros de nivel estático, para determinar su representatividad y uso del dato en el cambio del almacenamiento, el comportamiento anual del nivel se correlaciona con las variaciones de la precipitación mensual acumulada.
- Las tendencias son calculadas automáticamente por el “software” Excel, mediante selección visual con criterio experto de los periodos de análisis.
- Se considerará en el análisis la cantidad de registros anuales de almacenamiento, respecto a la cantidad total de los sitios considerados en el análisis.
- Para los cálculos de la estimación de recarga, el valor del coeficiente de almacenamiento y el área serán tomadas de Senara 2012.

Debido que no se dispone de la mayoría de las descripciones litológicas ni armados de los pozos que conforman la red de monitoreo manual en el acuífero Brasilito, se utiliza la clasificación de sitios de monitoreo presentada en Senara 2012 con respecto al nivel aluvial o una mezcla Aluvión-Complejo de Nicoya, se enlistan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 10. Red de monitoreo que capta el nivel aluvial o la mezcla aluvión-Complejo de Nicoya, en el Acuífero Brasilito**

<i>Código</i>	<i>Condición al 2022</i>	<i>Nombre</i>	<i>Longitud LCRN</i>	<i>Latitud LCRN</i>
Pozo 36	activo	Hotel Nany	339662	265560
Pozo 42	inactivo	Centro Rec – Licenciados 2	339692	265450
Pozo 43	inactivo	Carlos “Gato” Alfaro 1	339869	265984
Pozo 44	activo	Lote Marcos Rojas (Llanta quemada)	340266	266236
Pozo 45	activo	Carlos “Gato” Alfaro 3 piezómetro	340581	266269
Pozo 45-1	inactivo	Carlos “Gato” Alfaro 3 ASADA Brasilito 3	340581	266269
Pozo 46	inactivo	Carlos “Gato” Alfaro 4	340857	267233
Pozo 47	activo	Carlos “Gato” Alfaro 5	340334	267206
Pozo 48	activo	Carlos “Gato” Alfaro 6 Carrizuelo	340882	267099
Pozo 49	inactivo	Carlos “Gato” Alfaro 7	341012	266960
Pozo 49-1	activo	Carlos “Gato” Alfaro 7a	340843	267003
Pozo 63	inactivo	Team CRT 1	339619	265466
Pozo 64	inactivo	Team CRT 2	339593	265458
Pozo 65	activo	Cabinas La Gloria	339638	265516
Pozo 66	inactivo	Hotel Brasilito	339607	265749
Pozo 67	activo	Cabinas Olga	339630	265801

Pozo 68	inactivo	Hotel 5ta Esencia	339910	265841
Pozo 68-1	activo	Hotel 5ta Esencia Nuevo	339906	265907
Pozo 69	activo	Tico Adventure	339975	265961
Pozo 70	activo	Carlos “Gato” Alfaro 2	340618	266241
Pozo 71	activo	Carlos & Carlos Ristorante	340936	267291
Pozo 73	inactivo	Casa Allen López	340780	266204
Pozo 78	inactivo	Cabinas Ojos Azules	339631	265613
Pozo 83	activo	ASADA Brasilito 2	340464	266235
Pozo 84	inactivo	ASADA Brasilito Pozo 3	350592	266272
Pozo 59	inactivo	ASADA Brasilito 1	339650	265992

Es importante indicar, que debido que en el documento de Healey & Cook, 2002, no se indica de forma explícita el tipo de regresión a utilizar para la proyección de la curva de recesión. Ante ello, se procede a evaluar la curva de recesión para cada uno de los sitios de monitoreo, mediante la regresión lineal, conforme el acuerdo del CTI-agua subterránea (reunión ordinaria 18 octubre, 2022, en edición), donde se indicó que los documentos elaborados por Healey & Cook, 2002 y lo realizado por el Sr. Roberto Ramírez Director de Investigación y Gestión Hídrica del SENARA en el estudio para el acuífero Sardinal realizado en el 2011, deben ser considerados como base para la aplicación del Método de Análisis por Hidrogramas. Posteriormente, reunión efectuada el 29 de marzo 2023, (minuta en edición), de parte de SENARA y AyA se reafirma este acuerdo para que los estudios de actualización de la recarga como el presente y los de Potrero y Huacas-Tamarindo se ajusten a ello y en particular a usar la regresión lineal para la proyección de la curva de recesión, la cual determina cada uno de los  $\Delta h$  en las gráficas de niveles. El Anexo 2 se muestra el detalle del análisis gráfico de registro anual efectuado, en los registros históricos de la red de monitoreo para el cálculo del  $\Delta h$ .

Tomando en consideración los criterios de representatividad del dato de nivel estático para su uso en la estimación de la recarga mediante el método WTF, se indica:

- Debido a la falta de continuidad en los registros anuales del monitoreo estático que permitan la determinación de las curvas de recesión, se omiten del análisis los sitios: Hotel Quinta Esencia original, Hotel Brasilito, Carlos y Carlos Ristorante, Cabinas Ojos Azules, Casa Allen López, Asada Brasilito 1.
- De esta forma, conforme la información registrada en el histórico de los monitoreos. Se presenta en el cuadro 11 se presentan los resultados de la estimación del  $\Delta h$ , obtenidos mediante la proyección de la curva de recesión utilizado la regresión lineal.

Tomando en consideración que el concepto de “promedio” es parte del lenguaje cotidiano como un elemento de la toma de decisiones en todos los campos de la actividad humana, es necesario utilizar la medida apropiada. Mediante revisión bibliográfica efectuada, se identifica que la media armónica es una medida estadística utilizada en el análisis de niveles de agua subterránea, especialmente cuando se trabaja con datos que presentan una distribución no normal.

Debido al amplio uso de la media armónica en el análisis del comportamiento del agua subterránea y en la evaluación de los recursos hídricos, y con el fin de proporcionar una forma precisa y útil para describir la tendencia central de los datos y la distribución de los mismos, se procede a utilizar los valores obtenidos mediante esta herramienta estadística, para el análisis del comportamiento de los niveles de agua subterránea registrados en el monitoreo manual del acuífero Brasilito. A continuación,

se muestra una definición básica de la media armónica así como algunos beneficios identificados en su uso para el análisis del comportamiento de las aguas subterráneas

**Media armónica:** es el inverso de la media aritmética de los inversos de los datos. Siempre aporta los valores más bajos de cálculo de la media para una serie de datos. (Angel-Gutierrez, 2012), Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H = \frac{N}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}}$$

Siendo  $X$ = la variable de estudio  
 $N$ = número de observaciones

Algunos de los beneficios de utilizar la media armónica en el análisis de niveles de agua subterránea son:

- Se obtiene una estimación más precisa de los niveles medios de agua subterránea en sistemas acuíferos complejos, donde los datos pueden presentar una gran variabilidad o sesgo.
- Los resultados se ven menos afectados por valores extremos, en comparación con la media aritmética tradicional, lo que significa que puede proporcionar una mejor descripción de la tendencia central de los datos.
- Utiliza todos los datos de la distribución.
- Es particularmente útil en el análisis de datos de tasas de flujo de agua, ya que estos datos a menudo tienen una distribución no normal y se puede tener en cuenta las relaciones inversas entre los caudales y los tiempos de respuesta.

Tomando en cuenta lo anterior, la estimación de la recarga en el nivel aluvial del acuífero Brasilito, se procede a realizar una revisión de la representatividad de los resultados obtenidos del  $\Delta h$  para cada uno de los sitios de monitoreo, analizando la distribución espacial y temporal de los mismos, así como la continuidad histórica de los registros.

El siguiente cuadro muestra los valores de  $\Delta h$  a utilizar, para el cálculo de la recarga anual, luego de la revisión y validación de los resultados gráficos, así como los valores anuales de la media armónica, determinados para estimar un valor de la lámina de agua anual.

**Cuadro 11. Revisión de los valores  $\Delta h$  (m), para ser utilizados en la estimación de la recarga anual, del nivel aluvial del acuífero Brasilito**

POZO	2011	2012	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Carlos "Gato" Alfaro 3 piezómetro	3.03			3.55	3.39	7.66	6.77	4.65	9.07
Carlos "Gato" Alfaro 3 ASADA Brasilito 3		2.61							
Carlos "Gato" Alfaro 5	5.32	3.14	4.23	5.69	3.59	4.01	7.79	3.57	7.09
Cabinas La Gloria	6.00	4.48	3.47	2.31	4.44	4.99	7.06	2.76	4.49
Cabinas Olga	1.17	2.42	2.72	3.14	2.29	1.75	2.09	2.52	5.11
Hotel 5ta Esencia Nuevo			4.46	3.97	3.30	7.37	5.85	3.32	4.01
Carlos "Gato" Alfaro 2	3.74	4.86		6.82	5.61	7.43	7.79	5.42	7.54
Gato Alfaro 7a						11.32	17.37	12.89	14.79
Team CRT 1	6.38	2.64							
Team CRT 2	6.68	2.74							
Tico Adventure	2.97	3.80	2.64	2.13	3.09	3.96	5.35	2.82	7.90
Carlos "Gato" Alfaro 1	2.32	2.34							
Carlos "Gato" Alfaro 6	9.09	9.63	6.47	11.38	14.79	16.79	16.28	14.46	14.24
Carlos "Gato" Alfaro 4	7.16	8.86	18.17						
Carlos "Gato" Alfaro 7	11.26	12.43	10.91	15.65					
Hotel Nany	5.34	3.11	6.07	3.45	4.93	4.73	9.25	3.06	4.56
Centro Rec – Licenciados 2 Colipro	7.30	6.25							
Lote Marcos Rojas	4.39	7.77		6.70	9.41	8.39	8.59	9.88	5.15
ASADA Brasilito 2			11.56	10.44	4.60	8.76	9.06	7.94	4.38
Media armónica	3.97	3.86	4.88	4.34	4.18	5.29	6.54	4.29	6.13

Los espacios vacíos corresponden a ausencia de monitoreo o que el registro existente no permite la determinación de la curva de recesión y por tanto el  $\Delta h$  para el rango anual.

### Cambios anuales de almacenamiento en los materiales del Complejo de Nicoya

En el caso del nivel-acuífero que se desarrolla en los materiales fracturados del Complejo de Nicoya, la distribución espacial de los pozos que captan únicamente esta litología dentro del acuífero Brasilito, no ofrecen representatividad, al disponer de valores dinámicos de forma recurrente, limitando la caracterización de este parámetro a nivel local, lo que limita el cálculo de la recarga en el acuífero Brasilito

Mediante revisión bibliográfica se indica que las características del Complejo de Nicoya son semejantes tanto dentro del área del acuífero Brasilito como del Acuífero Potrero. Sin embargo, no se considera el uso de los valores determinados en el Acuífero Potrero, por ser datos transferidos de los cuales no es posible disponer de información local dentro del acuífero Brasilito, que permita calibrar y validar los resultados.

Lo anterior, no implica una subestimación de los resultados de la recarga, debido que los cálculos solo se realizan para el nivel aluvial y no se extrapolan a todo el acuífero Brasilito. Además, constituye un aspecto a favor en el manejo sostenible en el Acuífero Brasilito, debido que el caudal de recarga que se produce en el nivel desarrollado en los materiales del Complejo de Nicoya no estaría siendo considerado para su extracción. Además se reitera, no tener información local y el transferir valores

del acuífero Potrero no es viable en razón principalmente de no disponer de información dentro del acuífero Brasilito que permita calibrar y validar el uso de los resultados para una extrapolación representativa. Por lo anterior, es recomendable mejorar la red de monitoreo de nivel estático en esta área y sea posible la cuantificación de la recarga y así poder valorar las condiciones de aprovechamiento en este nivel.

### **Estimación de la recarga anual para el acuífero Brasilito**

Como se indicó anteriormente, el cálculo de la recarga solo se realizará para el nivel aluvial del Acuífero Brasilito, tomando en consideración la información registrada para pozos que captan el nivel aluvial y los que captan mezcla (aluvión -rocas fracturadas del Complejo de Nicoya). Básicamente la estimación de la recarga mediante el método de Hidrogramas de pozos consiste en la multiplicación de tres parámetros, para nuestro caso de estudio las fuentes de información se mencionan en el cuadro 12 y se utilizarán los valores del  $\Delta h$  anuales, determinados mediante la media armónica y presentados en el cuadro 11. En atención a los acuerdos del CTI agua subterránea, los cálculos de estimación de la recarga se desarrollan para cada uno de los años calendario monitoreados

#### ***Cuadro. 12 Fuente de información de los parámetros requeridos para aplicar el Método de Hidrograma de pozos.***

<b>Parámetros</b>	<b>Fuente de Información</b>
Lámina de saturación	Valor anual $\Delta h$ , Cuadro 12 del presente estudio.
Área de la litología	Informe Senara, 2012
Rendimiento específico	Informe Senara, 2012 (con base en Rodríguez 2010)

Como se indicó en apartado anterior, la información de la lluvia aportada por los registros de la estación meteorológica N° 72169 Potrero (Senara) / Matapalo (IMN).

### *Nivel-Acuífero Aluvial*

Para el área de estudio, la recarga anual estimada por el método WFT para el nivel aluvial, se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 13: Estimación de la recarga anual para el nivel aluvial del Acuífero Playa Brasilito**

año	Área (m <sup>2</sup> )**	Lámina anual de agua (m)	Rendimiento específico*	Volúmen de agua (m <sup>3</sup> )	Recarga Estimada (m <sup>3</sup> )	Recarga estimada (l/s)
2011	6198017.97	3.97	0.15	24630599.1	3694589.87	117.15
2012	6198017.97	3.86	0.15	23919351.9	3587902.79	113.77
2013	6198017.97					
2014	6198017.97					
2015	6198017.97					
2016	6198017.97	4.88	0.15	30262070.6	4539310.59	143.94
2017	6198017.97	4.34	0.15	26903728	4035559.19	127.97
2018	6198017.97	4.18	0.15	25884233.8	3882635.07	123.12
2019	6198017.97	5.29	0.15	32798494.7	4919774.20	156.01
2020	6198017.97	6.54	0.15	40514405.8	6077160.87	192.71
2021	6198017.97	4.29	0.15	26594320.1	3989148.02	126.50
2022	6198017.97	6.13	0.15	37985409.6	5697811.44	180.68

### *Análisis de la recarga del nivel aluvial respecto a las variaciones climáticas*

Para el espacio temporal de análisis (2011-2022), la evaluación del efecto directo de los eventos climáticos extremos en la variación de niveles del acuífero se ha visto afectada por la ausencia de registros disponibles, entre estos inconvenientes se cita:

- Suspensión del monitoreo en el periodo comprendido entre 2013-jun2016, el cual coincidió con el evento más intenso del fenómeno “El Niño”, que se ha presentado en la región en los últimos años.
- En algunos sitios de monitoreo se presenta la ausencia de registros en meses asociados con la presencia de eventos meteorológicos tales como Tormentas, Huracanes y lluvias intensas que generan inundaciones en diferentes sectores impidiendo el acceso de los funcionarios a los sitios de monitoreo. De esta forma la influencia de eventos como los Huracanes Rina, Otto, Eta, Iota, así como la Tormenta Tropical Nate, Bonnie y Julia, pueden resultar subestimados.

Tomando en consideración las limitantes de los registros disponibles, es posible indicar una relación porcentual entre la estimación anual de recarga, respecto al acumulado anual de lluvia registrado (Cuadro 14) El promedio del acumulado de lluvia anual corresponde con 347. L/s.

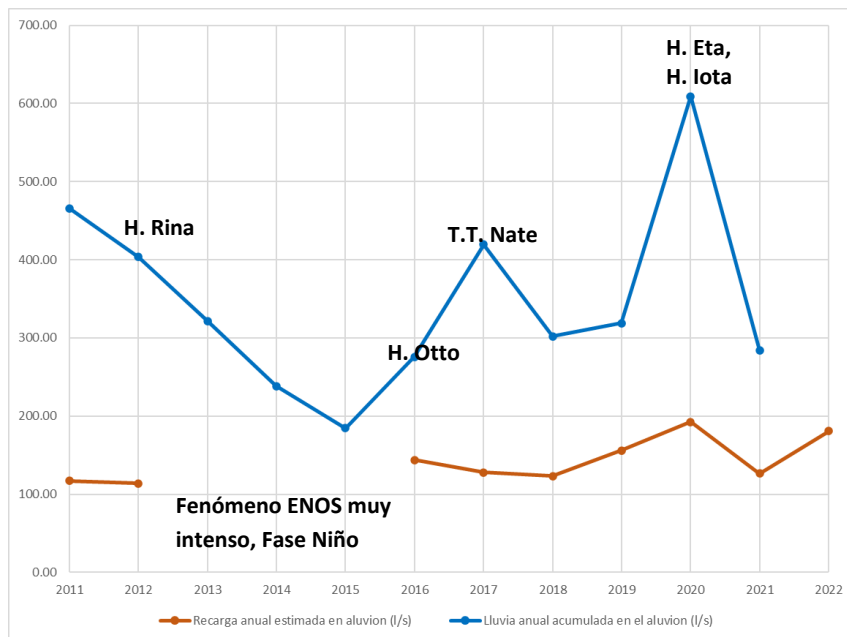
**Cuadro 14. Estimación del porcentaje de lluvia que recarga en el nivel aluvial del Acuífero Brasilito, conforme el método WTF.**

año	Recarga estimada (l/s)	Lluvia anual (mm)	Lluvia anual acumulada* (m3)	Lluvia anual acumulada (l)	% lluvia recargada	Fase ENOS
2011	117.15	2370.16	14690294.27	465.83	25.15	Niña
2012	113.77	2052.80	12723291.29	403.45	28.20	Niño
2013		1635.71	10138159.97	321.48		neutral
2014		1211.54	7509146.69	238.11		Niño
2015		939.30	5821798.28	184.61		Niño
2016	143.94	1404.30	8703876.64	276.00	52.15	Transición / Niña
2017	127.97	2135.00	13232768.37	419.61	30.50	Niña
2018	123.12	1535.60	9517676.39	301.80	40.79	Transición / Neutro
2019	156.01	1621.20	10048226.73	318.63	48.96	Neutro
2020	192.71	3099.10	19208277.49	609.09	31.64	Niña
2021	126.50	1445.50	8959234.98	284.10	44.53	Niña
2022	180.68					

\*Cálculo realizado tomando de referencia el área del aluvión

Los espacios en blanco corresponden a ausencia de información disponible

Es importante indicar que, al realizarse la recolección de datos de forma manual, en los periodos de lluvias intensas que generan inundaciones en los alrededores de los sitios de monitoreo, se imposibilita la recolección del dato, por lo que esto constituye una limitante en el registro del comportamiento del acuífero ante de los eventos climáticos de lluvias extremas.



**Fig. 21. Comparación gráfica de las variaciones de recarga anual en el nivel aluvial del acuífero Brasilito con relación a la variabilidad climática (lluvias)**

Mediante la figura 21 se presenta un gráfico que correlaciona el comportamiento de los valores de recarga estimados para el nivel aluvial, respecto a los acumulados de lluvia y los principales eventos climáticos extremos reportados por el IMN. En ella se muestra que, bajo los efectos del Huracán Otto, se logró alcanzar en el 2016, valores de recarga superiores a los valores previos a los efectos del

Fenómeno Enos 2015. A partir del 2017 los valores de recarga anual muestran una tendencia de variación concordante con la variación del acumulado anual de lluvia, evidenciando la directa relación de la recarga en el nivel aluvial del acuífero Brasilito con las lluvias y la importante influencia de la variación climática en el comportamiento del nivel aluvial del acuífero Brasilito.

## 6. ANALISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL NIVEL ALUVIAL DEL ACUÍFERO BRASILITO

En el desarrollo de este análisis toma en consideración la información disponible y la distribución espacial/captación de los pozos existentes dentro del acuífero Brasilito, por lo que solo se considera la información del nivel aluvial.

### 6.1 Disponibilidad hídrica en el nivel aluvial del Acuífero Brasilito

La evaluación del caudal disponible se realiza tomando en cuenta la información de la recarga estimada y su relación con la variabilidad climática. Debido que no existe en el área un estudio actualizado de evaluación del estado de los ecosistemas superficiales respecto a su interrelación con el acuífero, el cual nos asegure que esta relación de condición crítica satisface todas las necesidades de los ecosistemas asociados al acuífero (manglares, caudal base de ríos y quebradas, caudal de nacientes, entre otros), no es apropiado considerar que el valor de la estimación de la recarga sea un volumen total disponible de agua.

Por su parte, la metodología considera que los niveles de agua medidos contemplan la totalidad de las salidas de agua en el acuífero, siendo el agua de fuentes de agregación terciaria que el acuífero alimenta, reiteramos no identificadas, están siendo consideradas y no se tiene documentado evidencia de que, con este comportamiento, se haya presentado daño a algún ecosistema asociado, si existiera.

Tomando en consideración que una estimación del caudal a aprovechar es un valor que trasciende al año de evaluación, y que la variabilidad climática es un factor importante en la recarga, se procede a analizar el comportamiento de la recarga estimada mediante el método WTF con relación a un promedio del acumulado anual de lluvia, analizando diferentes situaciones.

Las condiciones promedio de referencia se establecen mediante el promedio del acumulado anual de lluvia de todo el periodo analizado (2011-2021), y procediendo a estimar la recarga teórica,

Mediante la aplicación de la metodología WTF, los resultados muestran que el año 2018 registra la condición de recarga más baja posterior al efecto intenso del niño en el 2015 y además corresponde con un año neutro con relación a los efectos del fenómeno ENOS. Tomando esto en consideración se procede a estimar la recarga teórica para el promedio acumulado anual de lluvia tomando como base la información del porcentaje de lluvia recargado en el año 2018:

- Lluvia promedio anual acumulada en aluvión (periodo 2011-2021): 347.52l
- Porcentaje de lluvia recargada en 2018: 40.79 %
- Estimación de la Recarga teórica del promedio acumulado anual de lluvia 141.75 l/s.

La recarga teórica del promedio del acumulado anual de lluvia, calculado anteriormente corresponde con un valor de seguridad que muestra la recarga que ocurriría cuando los registros anuales de lluvia se encuentren cercanos al promedio anual acumulado y corresponde con la recarga mínima esperada cuando el acumulado anual de lluvia sea mayor al promedio anual acumulado.

La siguiente figura muestra el comportamiento general de la recarga anual estimada para el nivel aluvial del acuífero Brasilito y la recarga teórica del promedio acumulado de lluvia.

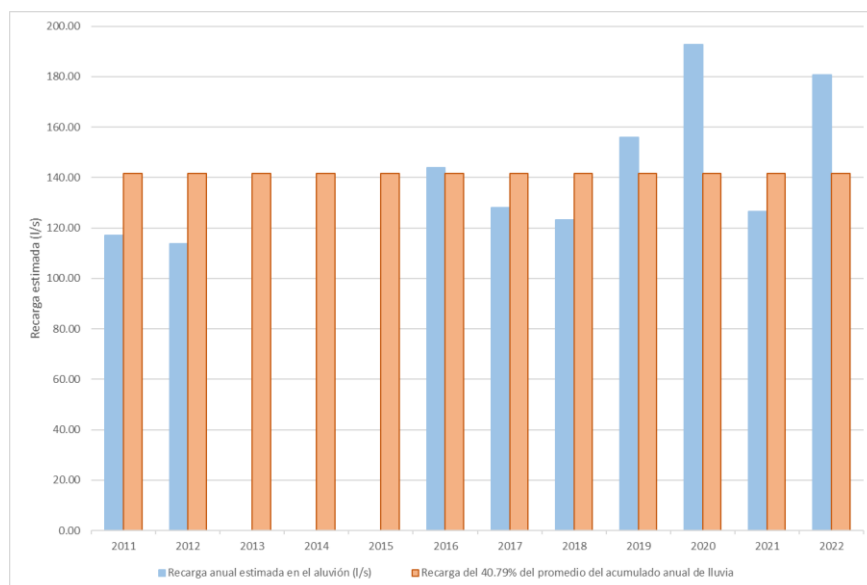


Fig. 22. Comparación gráfica de las variaciones de recarga anual en el nivel aluvial del acuífero Brasilito con relación a la recarga teórica estimada para el acumulado anual de lluvia

Luego de efectos del Fenómeno del Niño (2012, 2014, 2015) en el área del acuífero, se evidencia que la influencia de las lluvias generadas principalmente bajo los efectos del Huracán Otto permitió superar ligeramente el valor de la recarga teórica calculada para el acumulado anual de lluvia. Los periodos de lluvia posteriores especialmente asociados a la tormenta tropical Nate permitió mantener este nivel de valor de recarga teórica con variaciones en el orden de  $\pm 15$  l/s. Los efectos de los Huracanes Eta, Iota y Bonnie reflejan respuestas muy superiores a esta variación del comportamiento promedio.

### 6.1.1 Condición usando año con características por abajo del promedio de precipitación (año 2018)

Como se indicó anteriormente, el año 2018 registra los valores de recarga (resultados metodología WTF) más bajos posteriores al efecto intenso del Niño en el 2014-2015. El corresponder el 2018 con un año neutro/transición respecto a la influencia del fenómeno ENOS, le aporta un elemento adicional de representatividad para reflejar el comportamiento del nivel aluvial del acuífero.

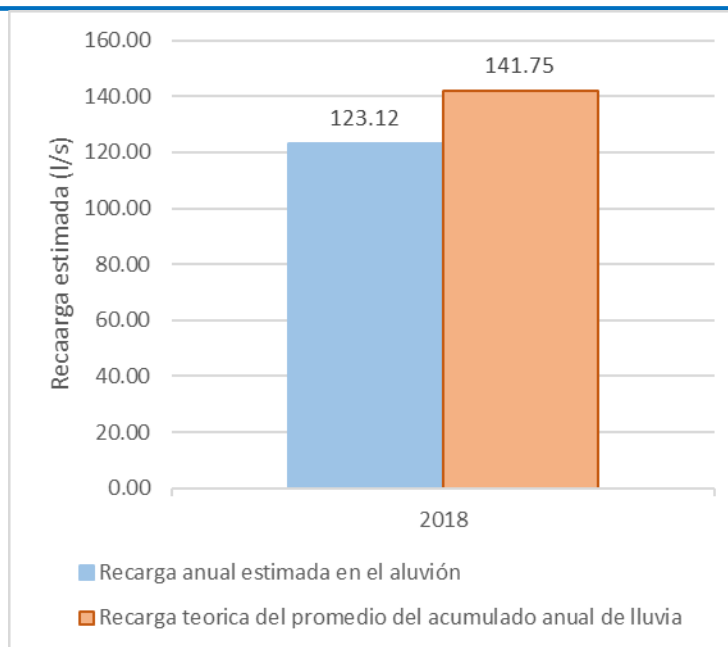


Fig. 23. Comparación gráfica de recarga anual 2018, respecto a la recarga teórica estimada para el acumulado anual de lluvia.

Es importante indicar que la aplicación de la metodología WTF, considera que los niveles de agua medidos contemplan la totalidad de las salidas de agua en el acuífero, siendo el agua de fuentes de agregación terciaria que el acuífero alimenta, puntualmente no identificadas, están siendo consideradas. A la fecha no se tiene documentado evidencia de que, con el aprovechamiento actual, se haya registrado daño a alguna fuente terciaria asociada.

En esta investigación se desarrolla un análisis para la recomendación de un caudal de explotación haciendo uso de la información proveniente de los registros históricos del monitoreo y la respuesta de este comportamiento ante las variaciones climáticas. De este análisis se concluye que el valor absoluto de la diferencia entre la recarga teórica estimada para el promedio del acumulado anual de lluvia y la determinada mediante el método WTF para el 2018 (año de análisis), permite determinar un valor de caudal de explotación máximo que nos asegura que la recarga natural del nivel aluvial del acuífero Brasilito, y prever una sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo, resultados fundamentados en la evaluación directa de las condiciones de monitoreo y el comportamiento promedio de las lluvias en la zona.

Caudal de adicional disponible recomendado para el nivel aluvial del Acuífero Brasilito = 18.64 l/s

### 6.1.2 Condición usando año con características promedio de precipitación (año 2019)

El 2019 corresponde con un año donde el IMN reportó la influencia del fenómeno ENOS como neutral, y en él se registró la menor diferencia (llovió 28.89 l/s menos) con el promedio anual acumulado de lluvias, para el área del nivel aluvial del Acuífero Brasilito.

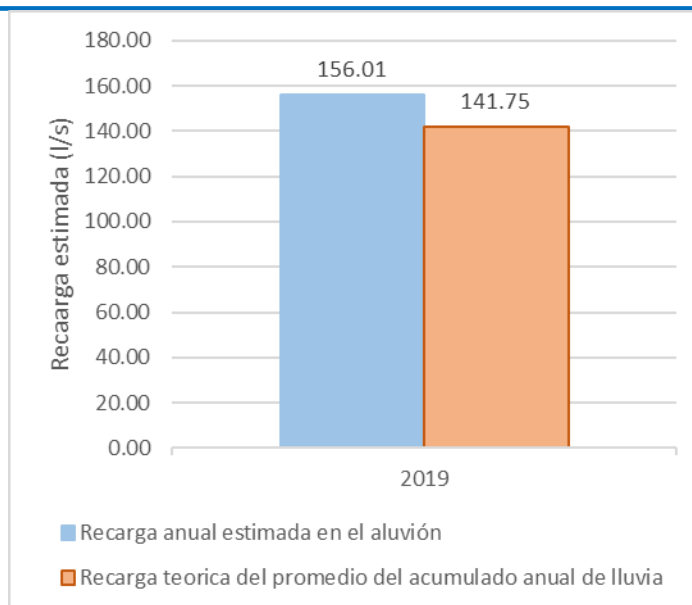


Fig. 24. Comparación gráfica de recarga anual 2019, respecto a la recarga teórica estimada para el acumulado anual de lluvia.

Para esta condición el valor absoluto de la diferencia entre las recargas es de 14.25 l/s; lo cual muestra que el análisis utilizando la recarga teórica estimada para el promedio del acumulado anual de lluvia presenta valores cercanos al comportamiento natural del nivel aluvial del acuífero Brasilito, lo cual aporta un valor positivo al análisis realizado.

### 6.1.3 Análisis de resultados y conclusiones respecto a disponibilidad hídrica.

El caudal de explotación en el nivel aluvial del Acuífero Brasilito, será distribuido por parte del MINAE, ente rector del Recurso Hídrico a nivel nacional; conforme lo establece la legislación vigente, considerando la información aportada por el solicitante con relación al análisis técnico de necesidades y documentación técnica de no afectación a terceros ni al ambiente

De esta forma como actividades paralelas a la evaluación y asignación del caudal de explotación calculado, debe considerarse también el abordaje de los siguientes aspectos:

- **Aprovechamientos autorizados no activos:** algunos evidenciados en informes (AyA, 2013; técnicos de la Dirección de Agua, entre otros), debido que no son extracciones contempladas en los cálculos de la metodología WTF (el resultado contempla los efectos de las salidas de agua del sistema acuífero). Ante ello debe considerarse también que deben ser contabilizados y priorizados, considerando su condición legal.
- **Caudal en extracción no autorizado:** Algunos de los aprovechamientos que actualmente se realizan no se encuentran registrados (ilegales, mayor aprovechamiento al concesionario, entre otros). Debido a la metodología aplicada la extracción de éstos caudales (que deben cuantificarse cada uno, actualmente no se tiene) son contemplados en los resultados. Es por ello que se requiere efectuar, campañas de levantamiento de campo y regulación de las extracciones con el fin de contabilizar este caudal en extracción no autorizado, para que sea considerado como un caudal recuperable y por tanto pueda adicionarse al total del volumen de explotación calculado para el nivel aluvial del acuífero.

- **Potencial autorización de nuevos aprovechamientos:** en vista que el país y la zona donde está el acuífero evaluado es propenso a condiciones climáticas críticas y extremas. Se recomienda elaborar un protocolo de procedimiento de alerta temprana (similar al implementado por la DA en el río Tempisque que opera desde 2020) para de atención y control de las condiciones de aprovechamiento en el acuífero Brasilito, mediante acciones tempranas de manejo sostenible de la extracción del acuífero implementando ajustes temporales en la extracción, mediante medidas de contención y mitigación por parte de los operadores, y de esta forma asegurar el agua a largo plazo. Lo anterior, apoyado en la información técnica que aporta el control y evaluación de niveles de agua subterránea versus los informes oficiales del IMN sobre la presencia de condiciones climáticas críticas y seguimiento del comportamiento de la lluvia en la estación de referencia de este estudio.
- **Control de nuevos aprovechamientos:** La Dirección de Agua, conforme la ley lo dispone, debe mantener un control de los nuevos caudales de aprovechamiento solicitados y otorgados, así como los “caudales recuperados”, con el fin de no superar los valores calculados. La actualización de esta información deberá comunicarse al CTI-Agua Subterránea y CONIMBOCO, para el respectivo seguimiento, con la periodicidad que estas comisiones lo soliciten.

## RECOMENDACIONES

1. Registrar en el monitoreo manual la mayor cantidad posible de niveles estáticos, así como ampliar la red de monitoreo a sitios que permitan caracterizar el comportamiento del nivel-acuífero desarrollado en los materiales del Complejo de Nicoya, con el fin de mejorar resultados posteriores de aplicación de la metodología WTF. Considerando el apoyo de usuarios estratégicos y responsables de los entes operadores.

Debido a la falta de registros históricos de niveles estáticos en los puntos de monitoreo que caracterizan el nivel del complejo de Nicoya en el acuífero Brasilito, y ante la diferencia de método para la determinación del  $\Delta h$  en el acuífero Potrero, no se considera representativa la evaluación de la recarga para este nivel con los datos del acuífero Potrero.

2. Procesar y cerrar los pozos ilegales, además, cuantificar el caudal extraído por los pozos identificados que han sido perforados sin permiso y que se encuentran en aprovechamiento sin disponer de concesión. Esta información permite estimar un caudal extraído que ha sido considerado en la metodología WTF, potencialmente recuperable para una posterior distribución.
3. Realizar un levantamiento de los pozos registrados y actualización de caudales de aprovechamiento dentro del acuífero. Debe tomarse en cuenta que el caudal extraído es el que la metodología permite evaluar su efecto en el comportamiento del acuífero.

Al MINAE en apego al artículo 17 de la Ley de Agua No. 276, y conforme hoja de ruta dispuesta por los Jerarcas para la realización de este estudio e intervención en estos acuíferos con el objetivo de dar sostenibilidad a estos, le corresponderá determinar sobre la disposición del agua disponible y considerando el acceso a través de los entes operadores por ley o delegación. con el fin de maximizar el disponible y darle sostenibilidad. Se deberá tener especial cuidado a tener un registro fiable del caudal extraído debidamente concesionado/inscrito, además, de la recuperación de la extracción no autorizada ya comentada y esto en los plazos administrativo y legales viables. Así mismo debe considerarse el control de los caudales concesionados /inscritos mayores a lo extraído. Esta diferencia no está evaluada en la metodología WTF, debido que no ha sido contemplado en el comportamiento en la recarga al no encontrarse en aprovechamiento, por tanto, no debe ser considerado como caudal disponible para distribución.

4. En el periodo 2018-2021 el monitoreo de calidad de agua que realiza el AyA aporta mediciones anuales por sitio de monitoreo, pero a partir del 2021 solo se realizarán muestreos de calidad en los 3 pozos referidos a la Asada Brasilito, se recomienda que esta red de monitoreo sea ampliada a los pozos de las Asadas Marvista y Las Palmas y con ello disponer de una adecuada representatividad de red ante una eventual contaminación por intrusión salina. Así también se solicita que esta información sea compartida al CTI agua subterránea, para la toma de decisiones respecto al apropiado manejo y gestión del acuífero.
5. La Dirección de Agua deberá realizar las gestiones necesarias para continuar con las mediciones de conductividad eléctrica en los pozos MTP-86 y MTP-356, los cuales documentan el comportamiento en el nivel aluvial de acuífero Brasilito.
6. Conforme los resultados históricos registrados, la Dirección de Agua, efectuará el control y seguimiento ante el riesgo de intrusión salina conforme lo establece el artículo 35 del DE-43053-MINAE

7. Los entes operadores, deben inscribir conforme la legislación vigente todas sus fuentes, justificando técnicamente los caudales requeridos (pruebas de bombeo, control preventivo de intrusión salina) y la estimación de crecimiento de demanda. Para ello debe haber una valoración de la existencia de pozos no registrados por no contar con los debidos permisos, asunto que debe estudiarse desde la óptica legal, por AyA y la DA.

La Asada Brasilito, se debe detallar la condición encontrada de tal forma proceder a inscribir debidamente el caudal de extracción, debido que a la fecha no dispone de caudal registrado en el Registro Nacional de Concesiones que administra la DA. Considerando lo que en ley corresponde.

La Asada Marvista, requiere justificar técnicamente a través de la Sub Gerencia de Acueductos Delgados del AyA y ante la Dirección de Agua, la necesidad de mantener registrados los caudales del pozo 2 (La Esquina) y pozo 3 (Los Pastos) que se reportan fuera de operación en los Informes del AyA, pero que tienen inscrito un caudal de 4.3 l/s y 4.5 l/s respectivamente. Así también el remanente del pozo 1 (4.6 l/s), que también se reporta como no utilizado.

La Asada Las Palmas, AyA requiere atender aspectos como: el pozo MTP-344 (P1-mangos), posee concesionado un caudal de 0.20 l/s, sin embargo, AyA 2022 reporta un aprovechamiento de 5.50, lo que indica un aprovechamiento superior al concesionado de 5.3 l/s. Los pozos P1, MTP-213, sin nombre, Sahino, Terraza se registran en el exp. 429-R, a nombre de la Asada Las Palmas, sin embargo, no son citados en el informe de AyA 2022. Así mismo en el expediente 16821-P a nombre de Asada Las Palmas se registra una solicitud nueva de fuente de aprovechamiento. Debido que en los informes del AyA se reporta un excedente de 15.5 l/s del caudal concesionado, aun con la proyección de necesidades al 2046, debe procederse conforme administrativamente corresponde. Y realizar un trabajo específico de determinación de la demanda real, conforme se señala en el documento.

8. Que el CTI Aguas Subterráneas, inste al AyA a que en el corto plazo inyecte todo el caudal previsto y reservado del acuífero Nimboyores al Sistema de acueducto regional Costero de Santa Cruz y permita una mayor distribución de agua a los operadores costeros. Esto en eco a los acuerdos de CONIMBOCO y que, al ser un caudal robusto y seguro, permitirá satisfacer los requerimientos hídricos de las proyecciones presentadas por el AyA para todas las ASADAS, en particular a la ASADA de Brasilito, citada en este estudio

Conforme la información suministrada en los informes supra citados del AyA (2022, 2023), el aporte del Acueducto Costero contempla satisfacer las necesidades hídricas proyectadas del acueducto de la Asada Brasilito hasta el 2036.

9. Si bien no debemos limitar el uso del agua a la población por medio de entes operadores, atendiendo el derecho humano al agua, este aprovechamiento debe ser con manejo sostenible del acuífero que asegure el agua de largo plazo. De tal forma, en vista de que el país y la zona donde está el acuífero evaluado es propenso a condiciones climáticas críticas, y algunas extremas, se recomienda que el MINAE en su facultad de la Ley de Aguas, elabore un protocolo señalado en la sección 6.1.3.

10. Con relación al caudal de explotación determinado para el nivel aluvial del acuífero Brasilito, mediante la metodología WTF, se indica que ante las condiciones de características de año abajo de promedio de precipitación (2018), resulta un caudal de explotación anual de 18.64 l/s. Tomando en consideración que las condiciones promedio aportan un caudal de explotación de 14.25 l/s. Para la explotación en cualquier de los dos escenarios debe el MINAE implementar el protocolo de procedimiento de alerta temprano para la regulación temporal de la extracción ante condiciones de clima que así lo disponga y a partir de información oficial del Instituto Meteorológico Nacional. Igualmente, el uso de agua que se considere por parte del CTI agua subterránea como caudal de explotación, sea distribuido por el MINAE conforme lo establece la legislación vigente, considerando la información aportada por el solicitante con relación al análisis técnico de necesidades y documentación técnica de no afectación a terceros ni al ambiente
11. Es necesario continuar con la calibración de los concesionarios faltantes, para que todo el aprovechamiento concesionado este calibrado y con control de extracción. También se deberá implementar los macro-medidores en las todas las fuentes de aprovechamiento de los entes Operadores (AyA, Asadas), y que esta información sea procesada en conjunto para un adecuado control de la extracción real.
12. La Dirección de Agua, debe mantener un control actualizado de los nuevos caudales de aprovechamiento solicitados y otorgados, así como los “caudales recuperados”, con el fin de no superar los valores calculados. La actualización de esta información deberá comunicarse al CTI-agua subterránea y CONIMBOCO, para el respectivo seguimiento, con la periodicidad que estas comisiones lo soliciten.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Aherne, A., & Walshe, J. (2010).** Evaluation of the impacts of climate change on groundwater recharge and availability in Ireland. *Hydrological Sciences Journal*, 55(7), 1130-1141.

**Angel- Gutiérrez, J.C., 2012:** La Correcta utilización de los promedios. Bogotá, Revista Universidad EAFIT, (S.I), v31, N.98., pp 77-86, julio 2012

**AyA, 2022:** Informe de capacidad hídrica de los operadores en los acuíferos costeros de Santa Cruz, Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos, Versión 1, Octubre 2022

**AyA, 2023:** Informe de capacidad hídrica de los operadores en los acuíferos costeros de Santa Cruz, Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos, Febrero 2023

**AyA, 2023 (en edición):** Actualización del estudio hidrogeológico para determinar la disponibilidad hídrica a partir del método de hidrogramas de pozos, en el acuífero de Playa potrero, Santa Cruz-Guanacaste. UEN Gestión Ambiental. Enero

**Beran, M. A., & Steward, D. R. (2011).** Arid groundwater resources and climate change. *Environmental Research Letters*, 6(4), 045202.

**Chong-Haw Lee, Wei-Ping Chen, Ru-Huang Lee, 2006:** Estimation of groundwater recharge using water balance coupled with base-flow-record estimation and stable-base-flow analysis. Springs Verlag.

**CTI aguas subterráneas, 2022:** Seguimiento del Comportamiento del Acuífero Brasilito, periodo de actualización: junio 2021 a diciembre 2021. Presentado por AyA.

**Da Silva, M. A., Coutinho, A. J. B., Da Rocha, G. C., & Fetter, C. W. (2015).** Use of the logarithmic regression method to estimate hydraulic conductivity from pumping tests in confined aquifers in Brazil. *Hydrogeology Journal*, 23(4), 773-784.

**Foster, S. S. D., & Loucks, D. P. (2006).** Non-renewable groundwater resources: a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. International Hydrological Programme.

**Gupta, V. K. and Gupta, M. (2008).** Groundwater resources evaluation. Taylor & Francis.

**Healy, Richard & Cook, Peter., 2002:** Using groundwater levels to estimate recharge. Springer-Verlag,

**IMN, web site:** sf. Clima en Costa Rica Pacífico Norte. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/PacificoNorte.pdf/4a0e8960-8c51-4390-8a8d-73d9d825d59b>; Boletines ENOS. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/boletin-enos>

**Li, J., Li, Y., Li, Z., Wang, H., & Song, X. (2020).** Evaluating the impact of climate variability and human activities on groundwater recharge in the Loess Plateau, China, using a logarithmic regression model. *Journal of Hydrology*, 584, 1-13.

**Liu, X., Zeng, Y., & Lu, X. (2018).** Prediction of groundwater level using logarithmic regression model in the upper reaches of Heihe River Basin, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(14), 1-10.

**López Palancar, JJ / Sanz, E., 1997:** Cálculo de la recarga natural de un acuífero a partir del Hidrograma del manantial, aplicación al manantial de Vozmediano

**Menéndez, L., Nastasi, B., & Figueredo, C. (2019).** Evaluation of the hydraulic properties of an aquifer in the Argentine Pampas using a logarithmic regression model. *Hydrogeology Journal*, 27(6), 2043-2053.

**Pérez-Gutiérrez, M. F., & Hernández-Espriú, A. (2018).** The use of logarithmic regression for the analysis of hydraulic data from an aquifer system in southeastern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 87, 1-8.

**Ponce-Zepeda, M. A., Canales-Pérez, G., Ochoa-Gómez, R., & León-Gómez, H. E. (2017).** Analysis of groundwater recharge in a karstic aquifer using a logarithmic regression model: a case study in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 76(14), 506.

**Seidel, E. R., & Rodríguez, D. A. (2020).** Spatial prediction of groundwater levels in a coastal aquifer using a logarithmic regression model in Central Chile. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28, 100689.

**Senara 2012:** Informe Técnico Final “Estudio Hidrogeológico de los acuíferos de Playa Potrero y Playa Brasilito”, mayo 2012

**Tariq, S., Rehman, S., Khan, M. A., Tahir, M. A., & Farooq, M. (2015).** Estimation of groundwater recharge in an arid region using a logarithmic regression model: a case study of Kohat Basin, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 74(4), 3269-3279

**USGS, s.f:** USGS Groundwater Information. Water-Table fluctuations (WTF) Method, Recuperado 16 de marzo del 2023 de <https://water.usgs.gov/oqw/qwrp/methods/wtf>

**USGS, (2019):** Groundwater Exploration end Assessment in the Republic of Costa Rica: Executive summary. By Belcher, W., Amer, S., Gachet, A., Silvestre, S., Ward, F., Salman, D. Letter Report

**Zhang, Q., & Wang, L. (2020).** Evaluation of groundwater quality using a logarithmic regression model in an arid area of China. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(13), 1-12.

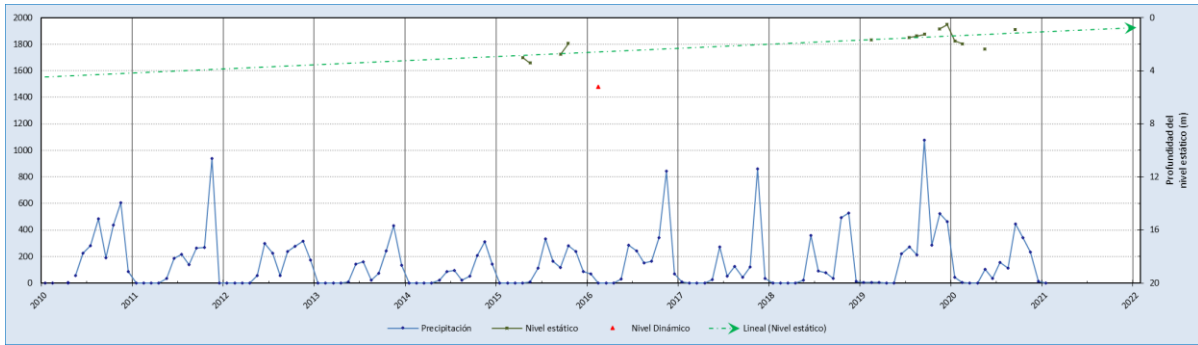
**Zhang, Y., Han, D., Liu, Q., Chen, Z., & Sun, J. (2016).** Groundwater level prediction using a logarithmic regression model based on wavelet decomposition in the North China Plain. *Water*, 8(6), 226.

**Zheng, C. and Wang, P. (1999).** MT3DMS: A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems; documentation and user's guide. US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

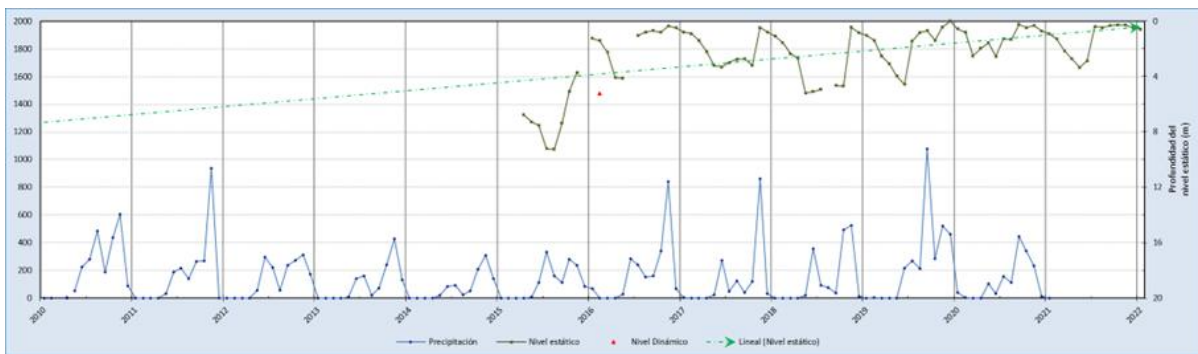
*Anexo 1*

*Comportamiento del registro histórico de niveles en los pozos pertenecientes  
a la red de monitoreo del acuífero Brasilito*

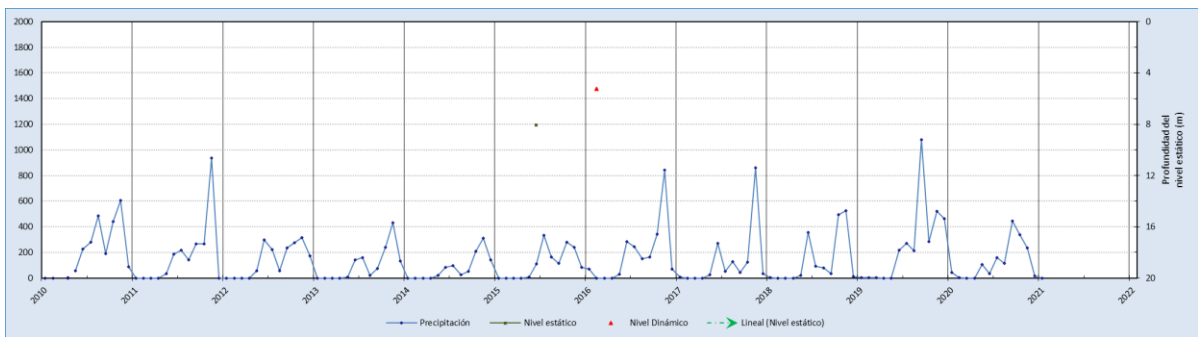
### Asada Brasilito 1



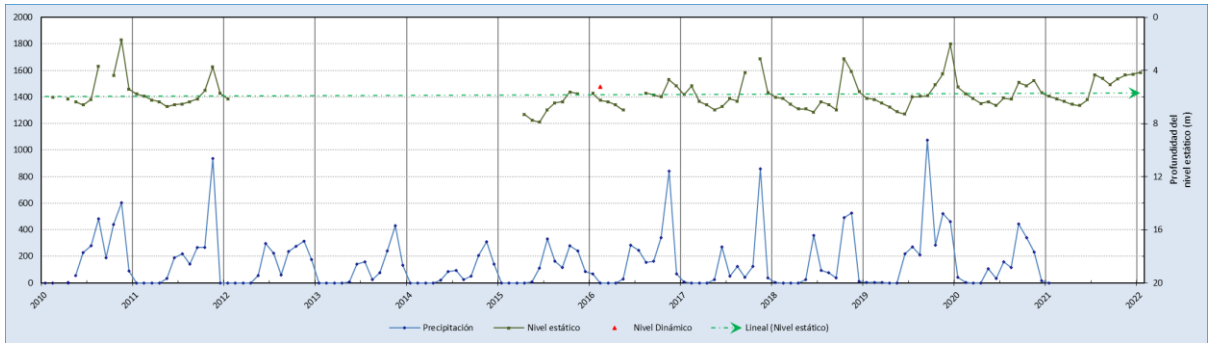
### Asada Brasilito 2



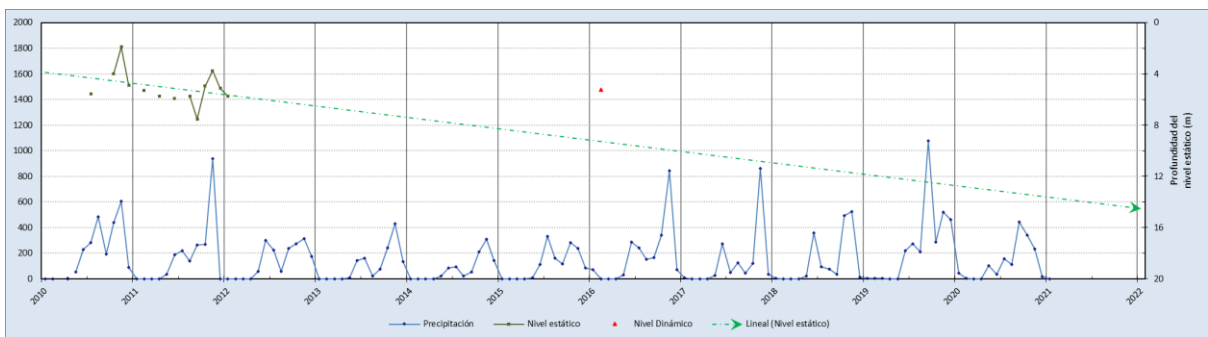
### Asada Brasilito 3



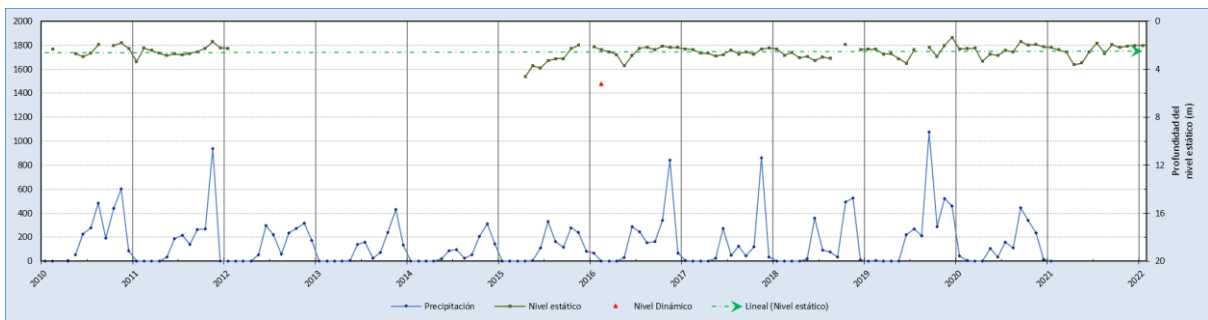
### Cabinas La Gloria



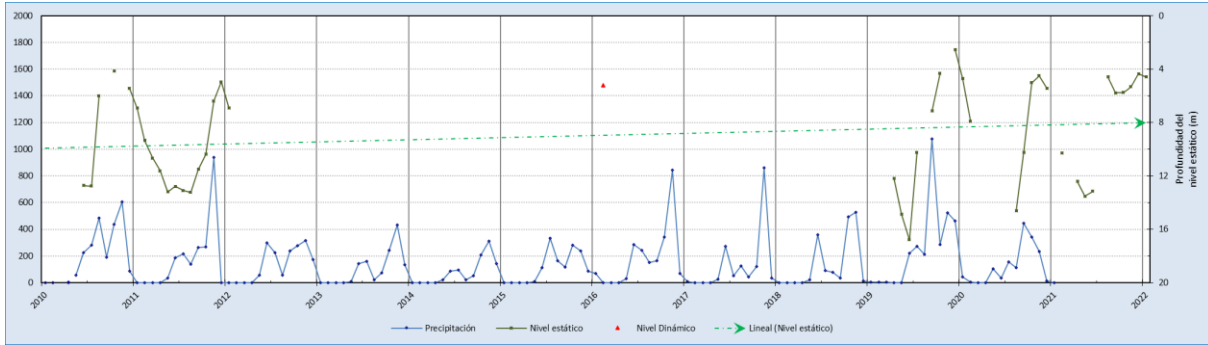
### Cabinas Ojos Azules



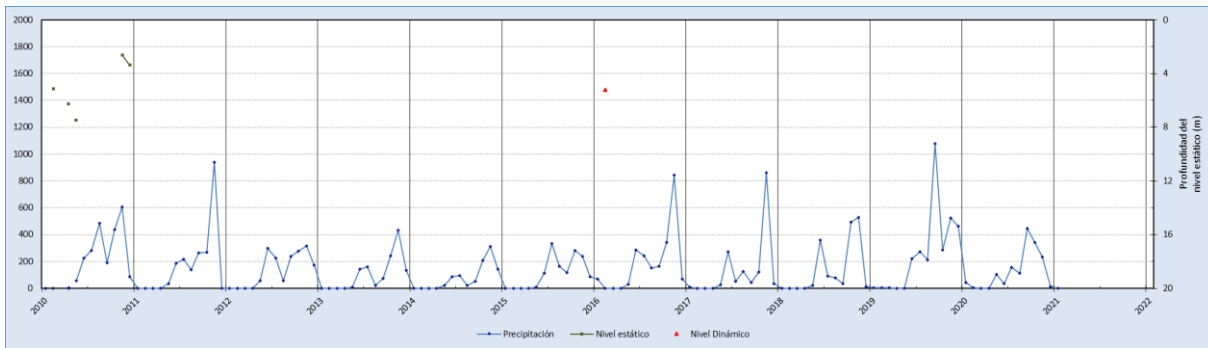
### Cabinas Olga



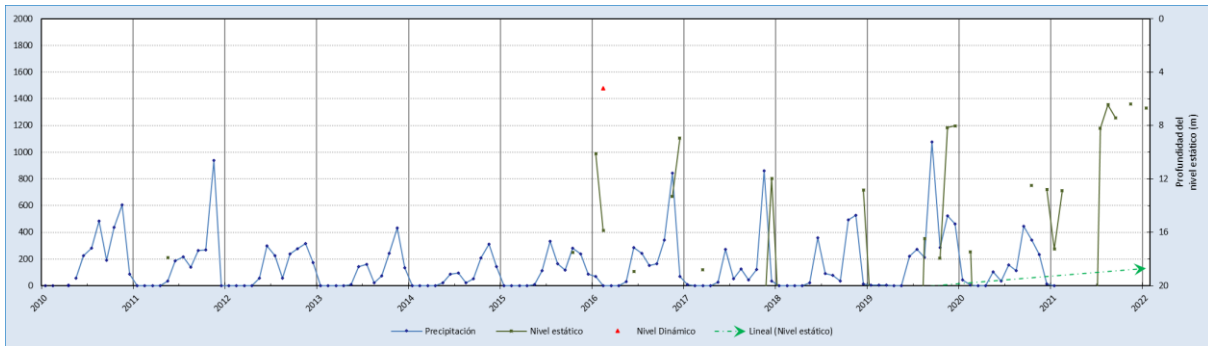
### Carlos & Carlos Ristorante



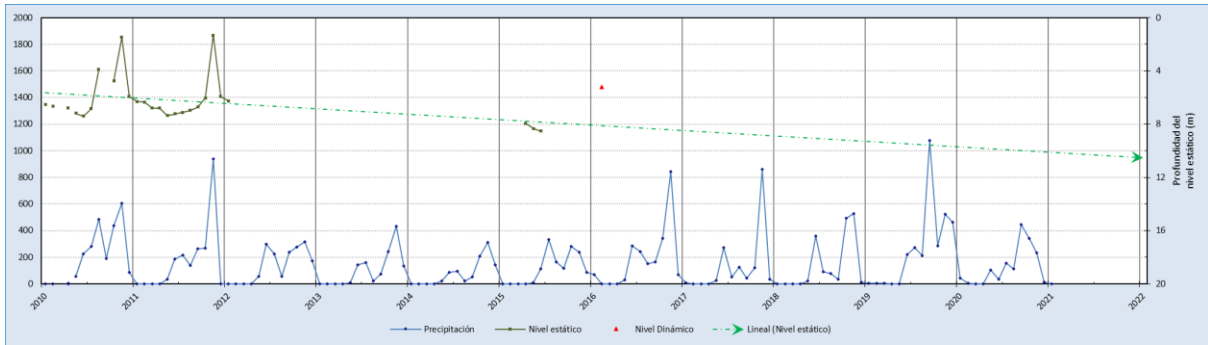
### Casa Allen López



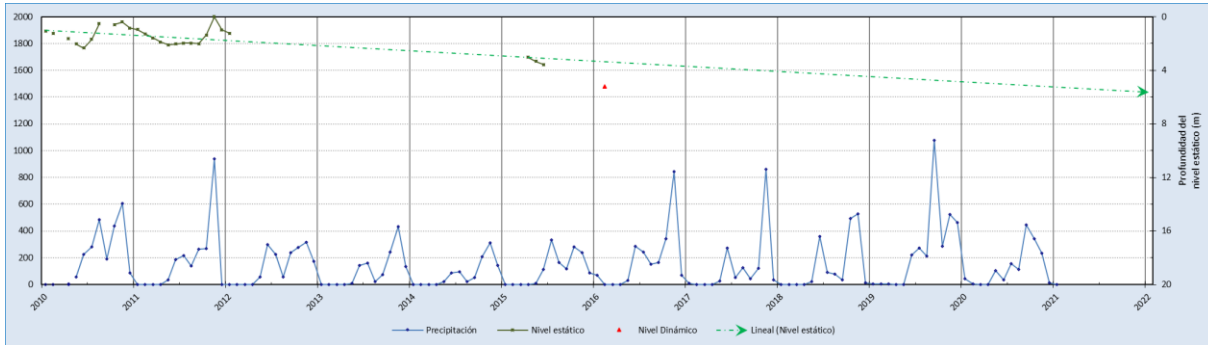
### Catalina Cove



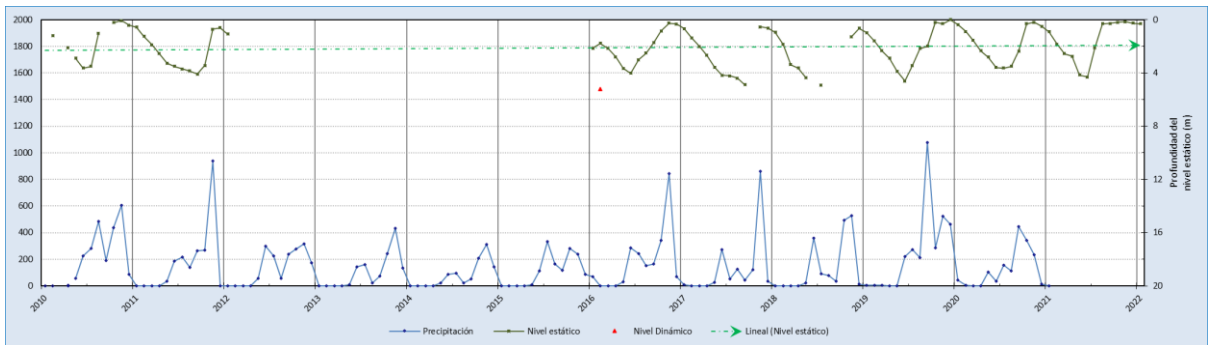
## COLIPRO



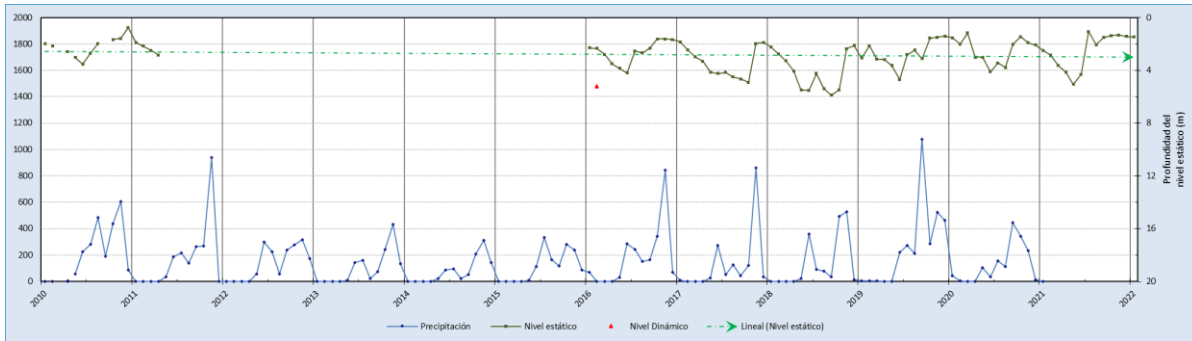
## Gato Alfaro 1



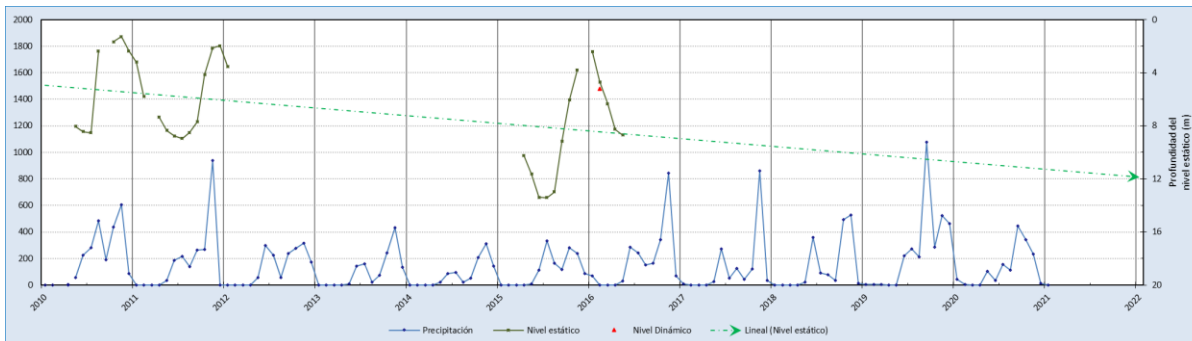
## Gato Alfaro 2



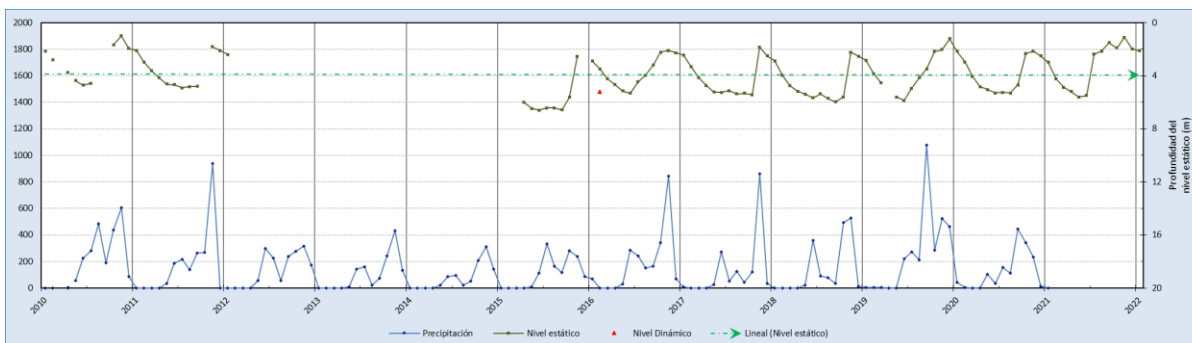
### Gato Alfaro 3 (piezómetro)



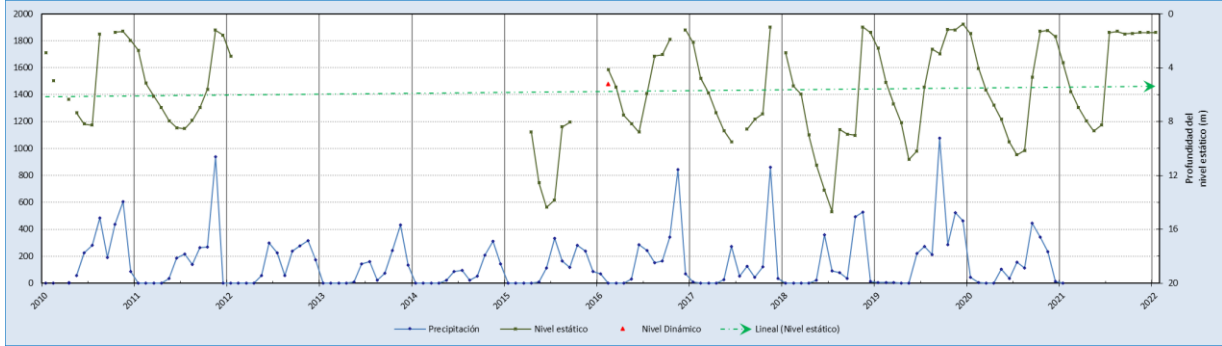
### Gato Alfaro 4



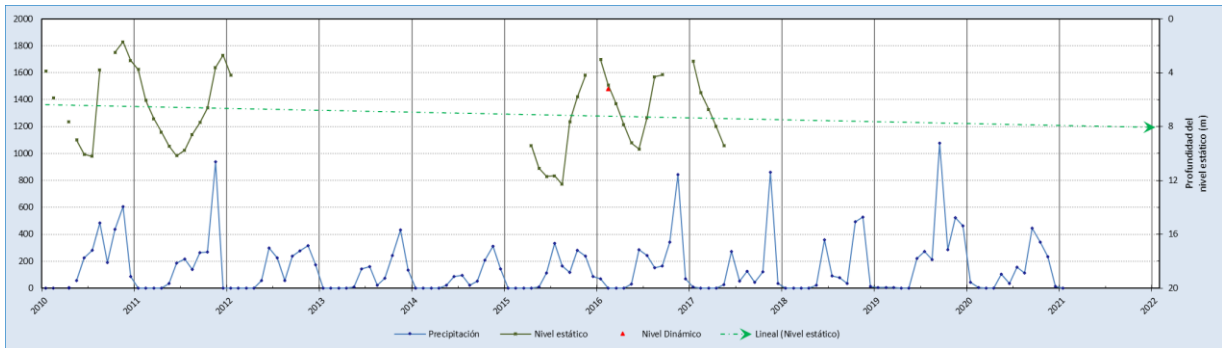
### Gato Alfaro 5



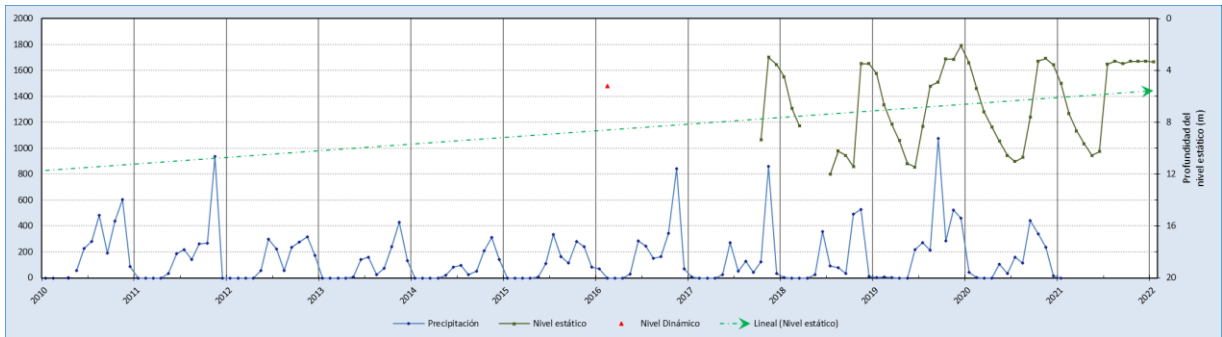
### Gato Alfaro 6



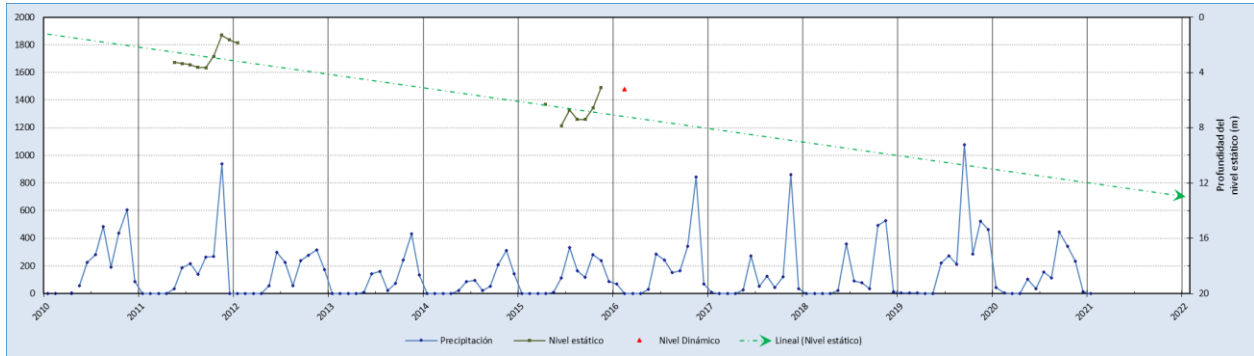
### Gato Alfaro 7



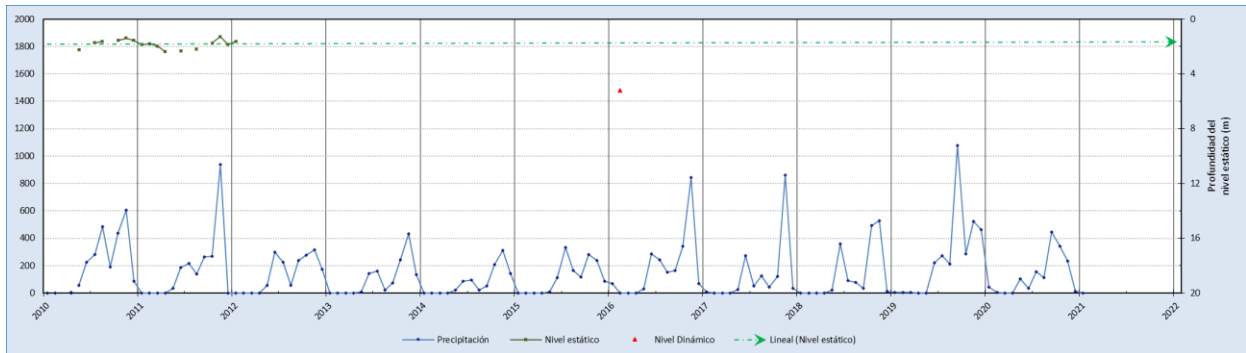
### Gato Alfaro 7a



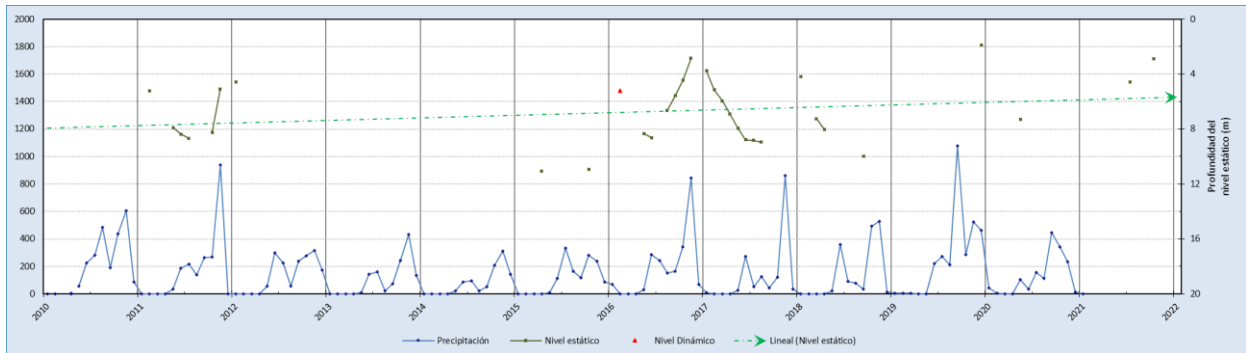
### Gato Alfaro 3, Asada Brasilito 3



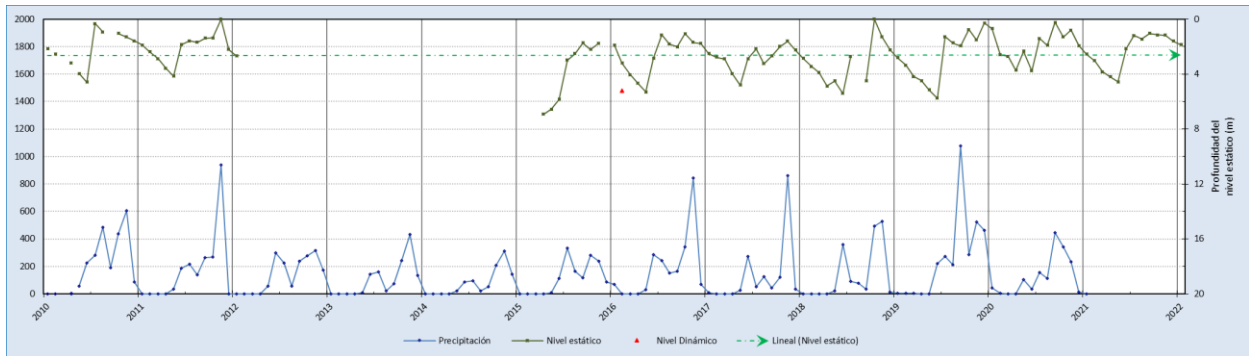
### Hotel Brasilito



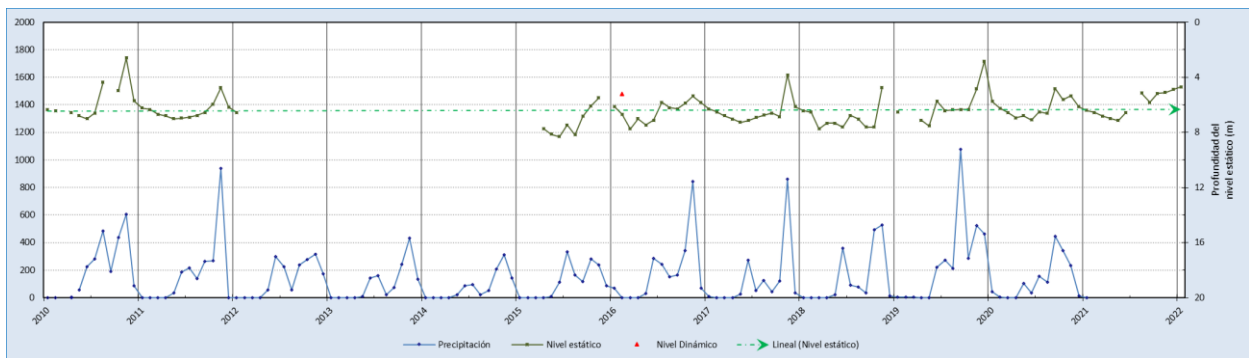
### Lote Julio López



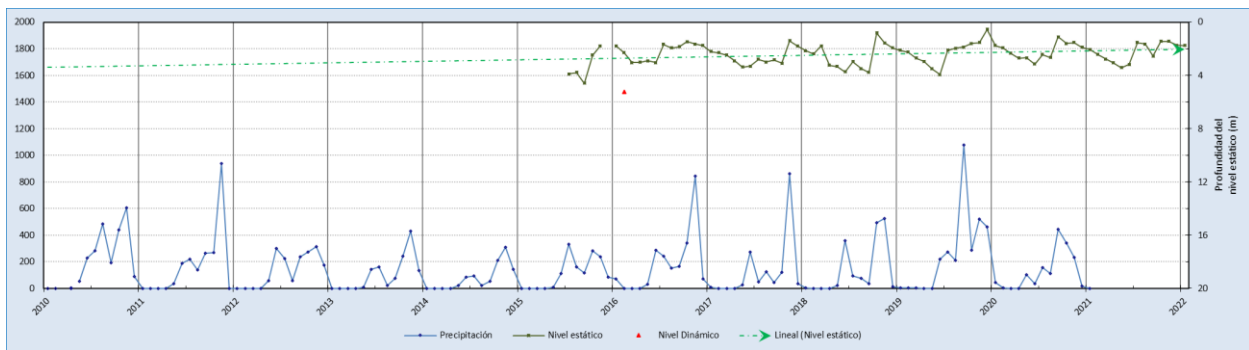
### Lote Marcos Rojas



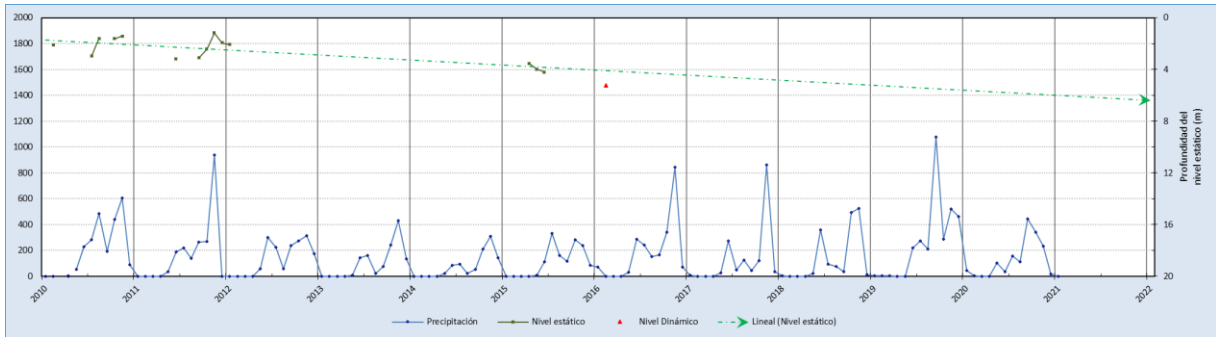
### Hotel Nany



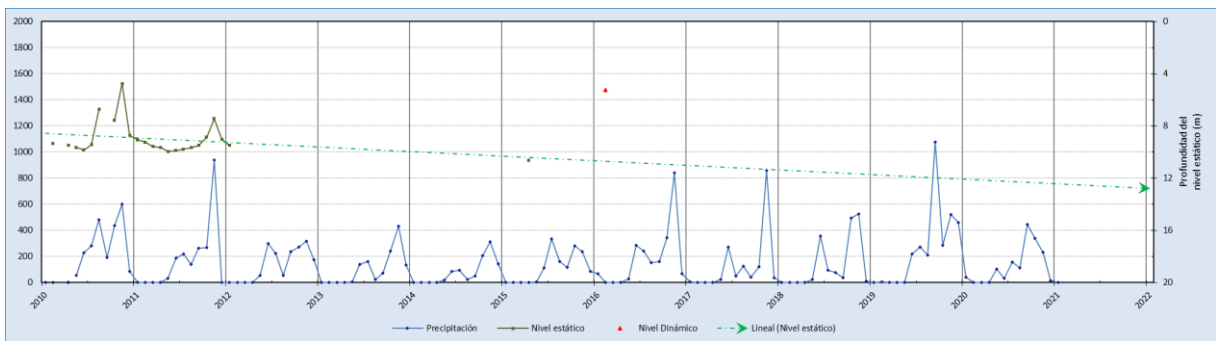
### Hotel Quinta Esencia nuevo



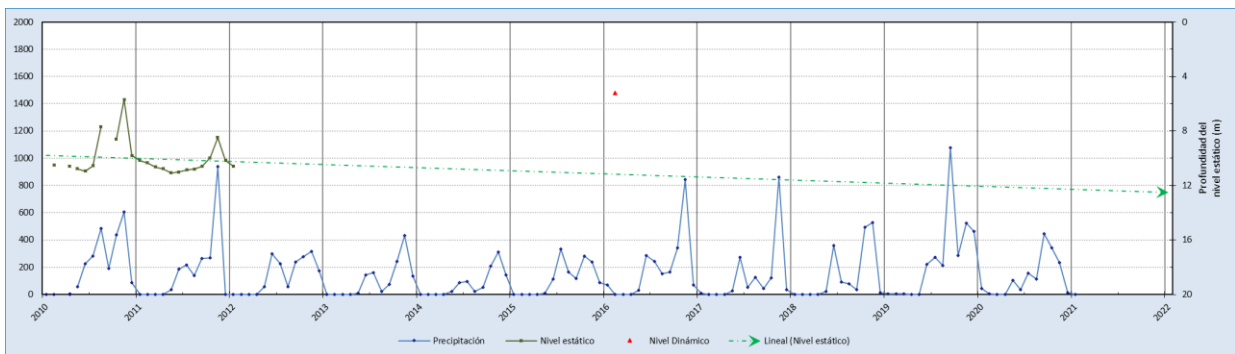
## Hotel Quinta Esencia original



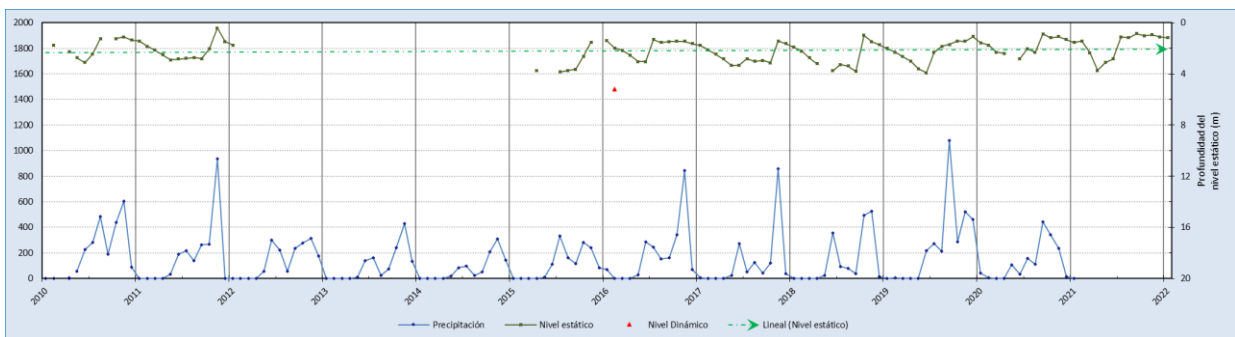
## Team CRT 1



## Team CRT 2.

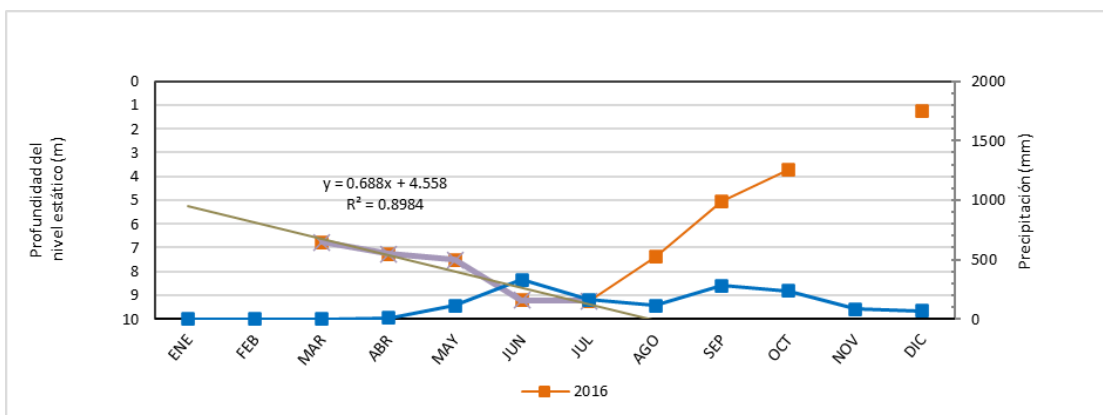


## Tico Adventure

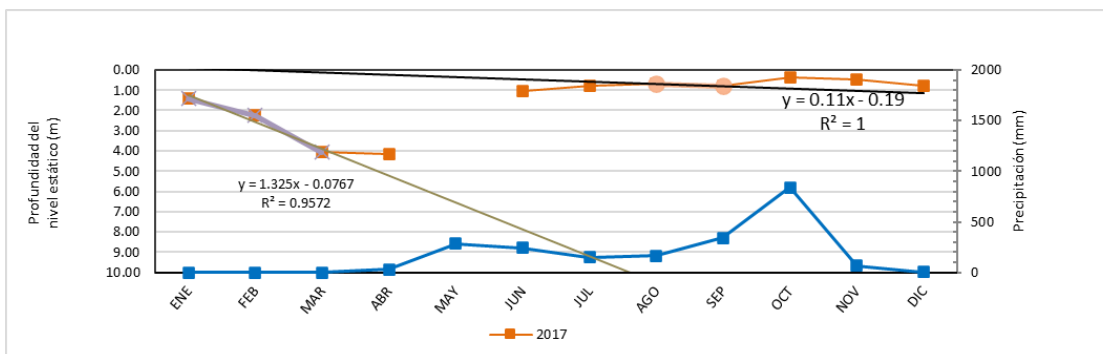


## *Anexo 2*

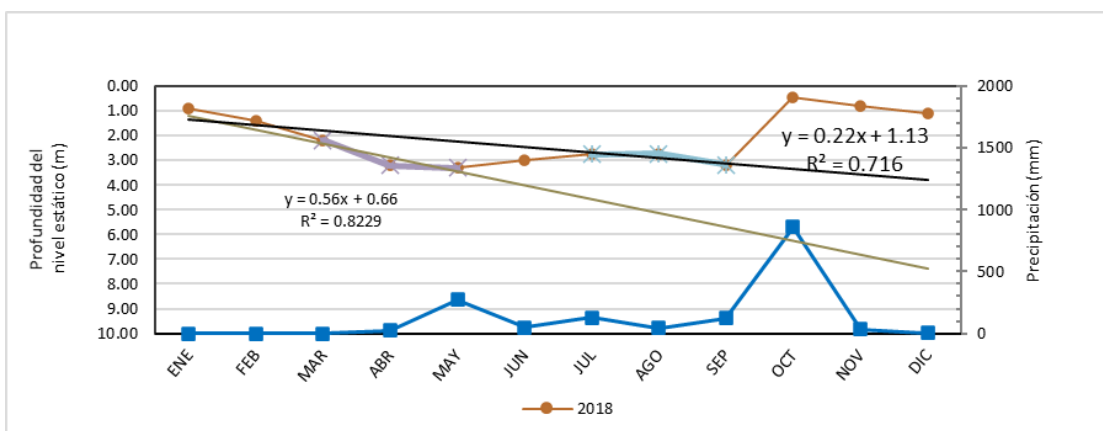
***Representación gráfica de la determinación de  $\Delta h$ , efectuado en los gráficos anuales y curva de recesión del comportamiento de nivel en los pozos representativos para la aplicación de la metodología WTF, pertenecientes a la red de monitoreo del acuífero Brasilito.***

**Pozo: ASADA Brasilito 2**


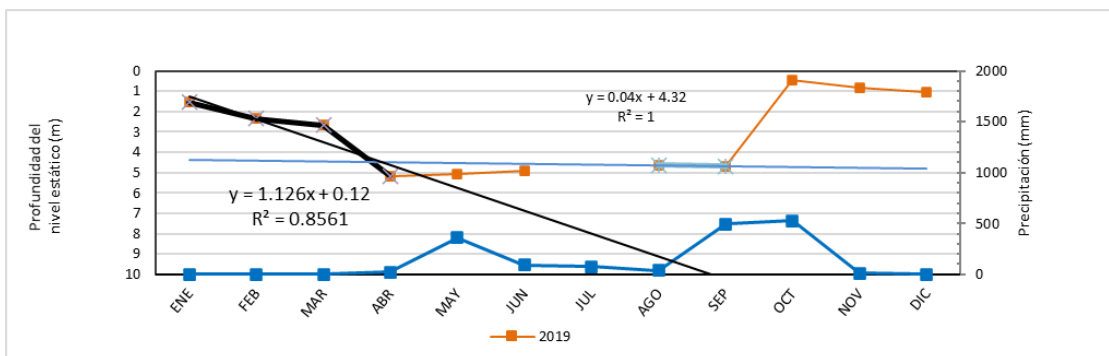
RG1	Rg2	Rg3	Total
12.81			
11.56			11.56



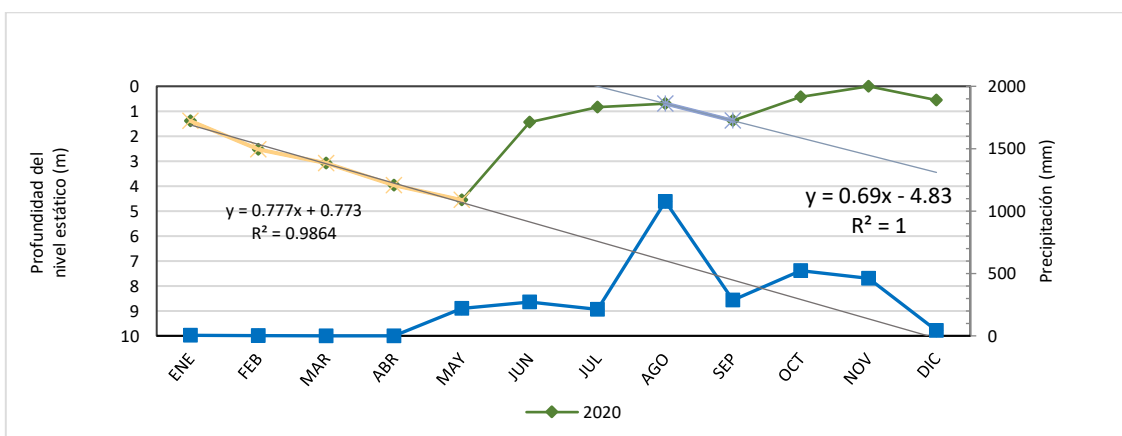
RG1	Rg2	Rg3	Total
10.68	0.80		
9.99	0.45		10.44



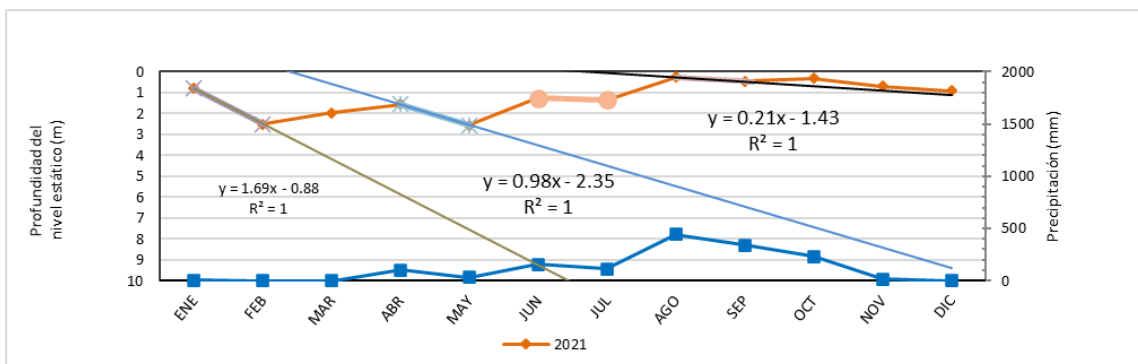
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.58	3.23		
1.83	2.77		4.60



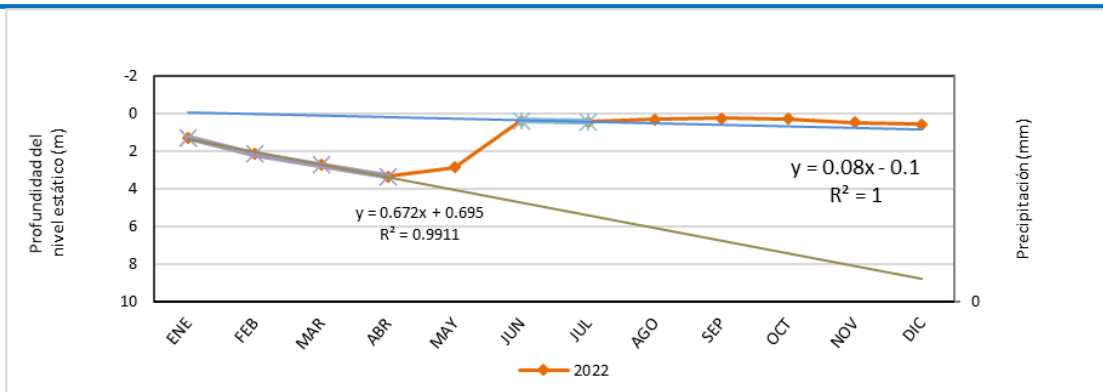
RG1	Rg2			Total
9.13	4.72			
4.49	4.27			8.76



RG1	Rg2	Rg3	Total
6.99	2.76		
6.30	2.76		9.06

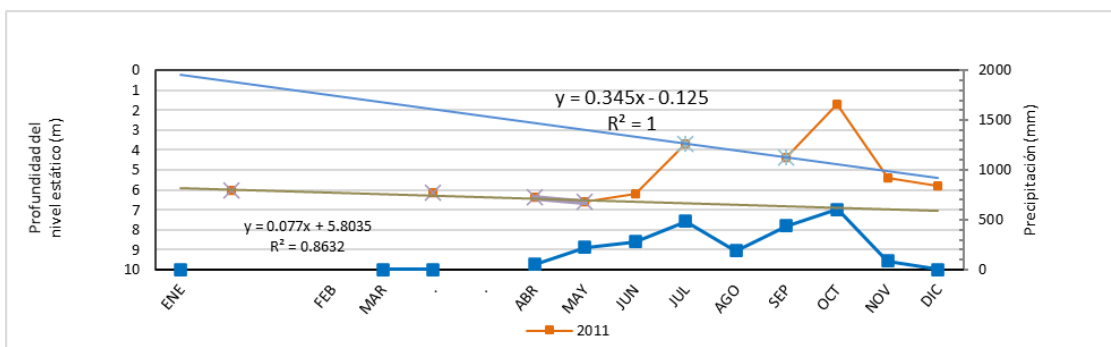


RG1	Rg2	Rg3	Total
5.88	3.53	0.67	
4.31	3.28	0.35	7.94

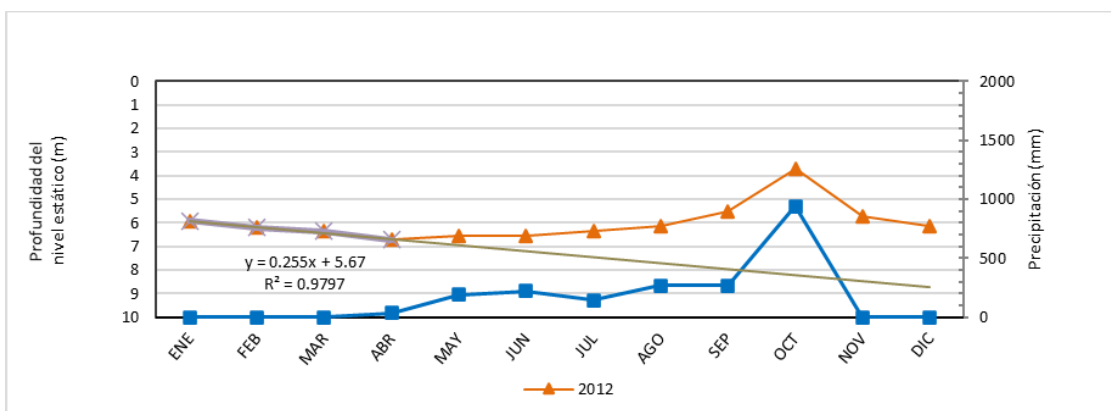


RG1	Rg2	Rg3	Total
4.73	0.30		
4.35	0.03		4.38

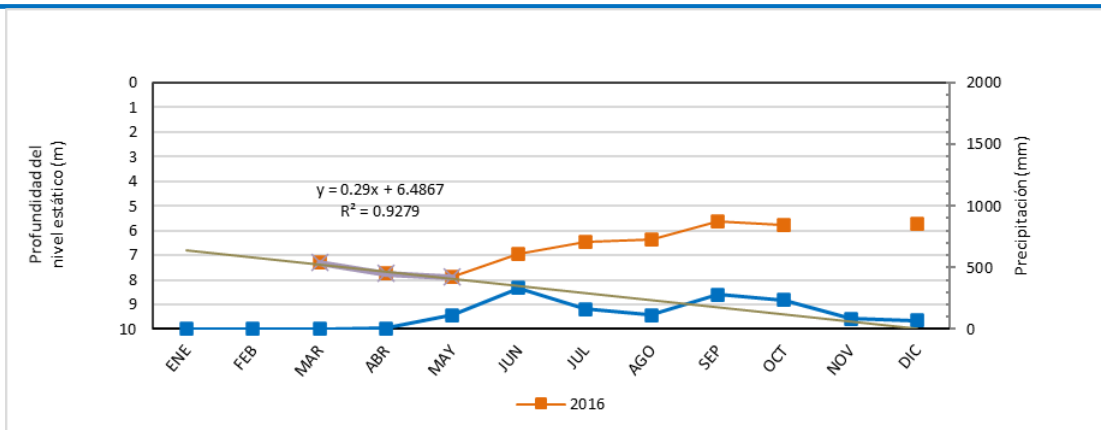
### Pozo: Cabinas la Gloria



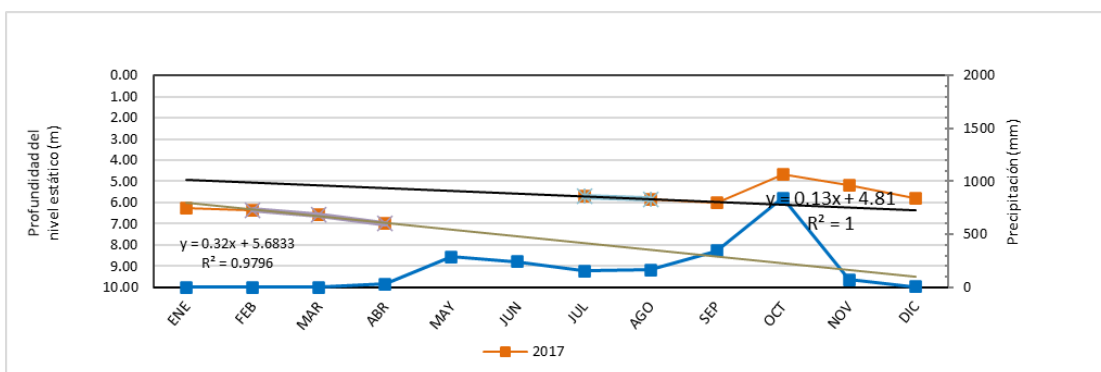
RG1	Rg2	Rg3	Total
6.34	3.33		
2.67	3.33		6.00



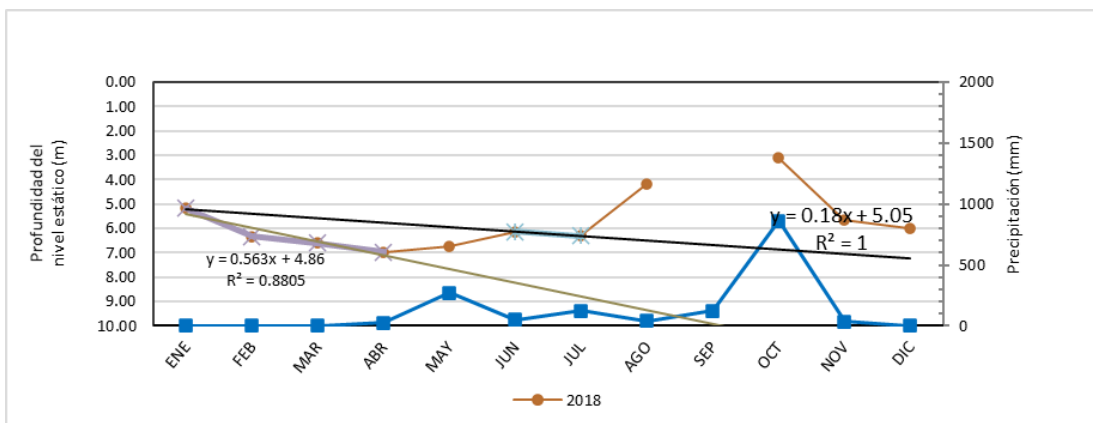
RG1	Rg2	Rg3	Total
8.22			
4.48			4.48



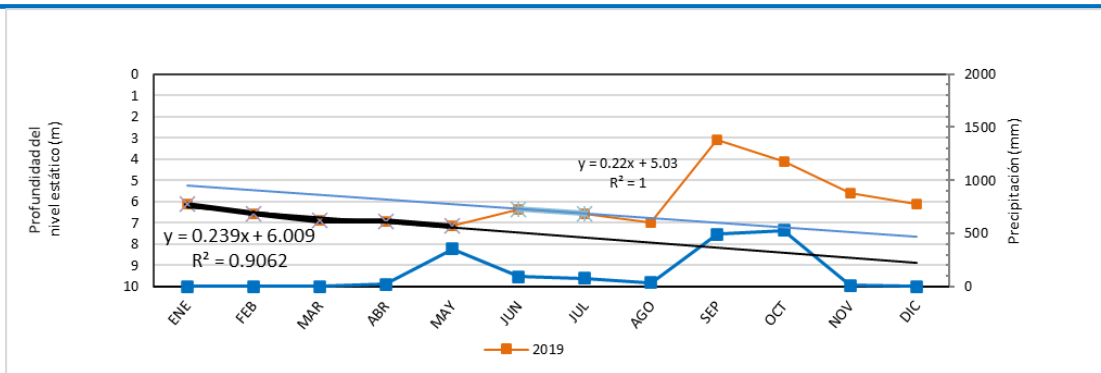
RG1	Rg2	Rg3	Total
9.10			
3.47			3.47



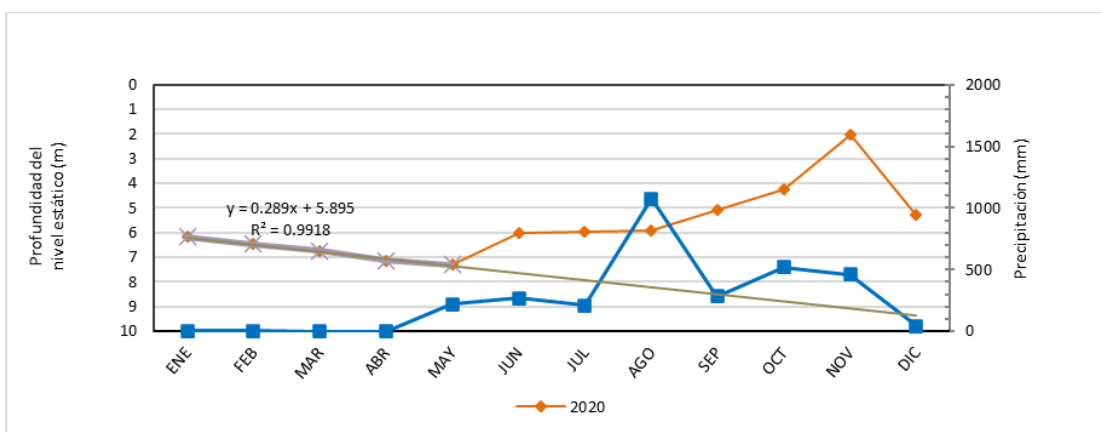
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.92	6.11		
2.20	0.11		2.31



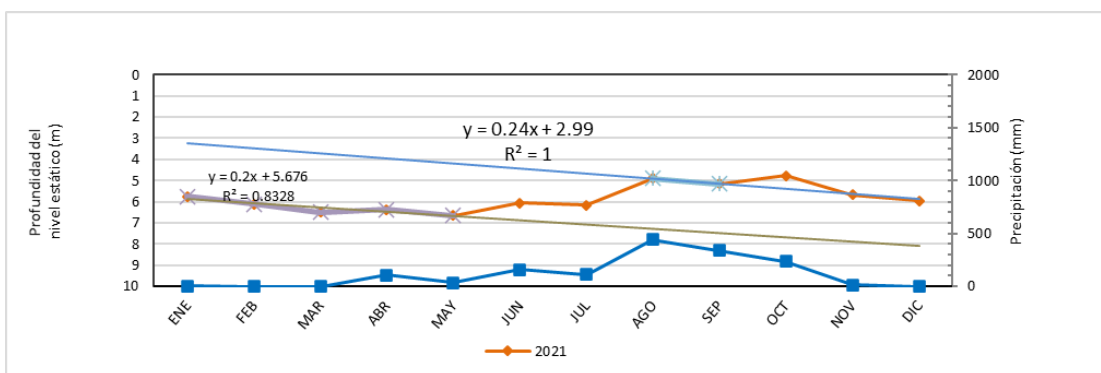
RG1	Rg2	Rg3	Total
8.24	6.49		
2.11	2.33		4.44



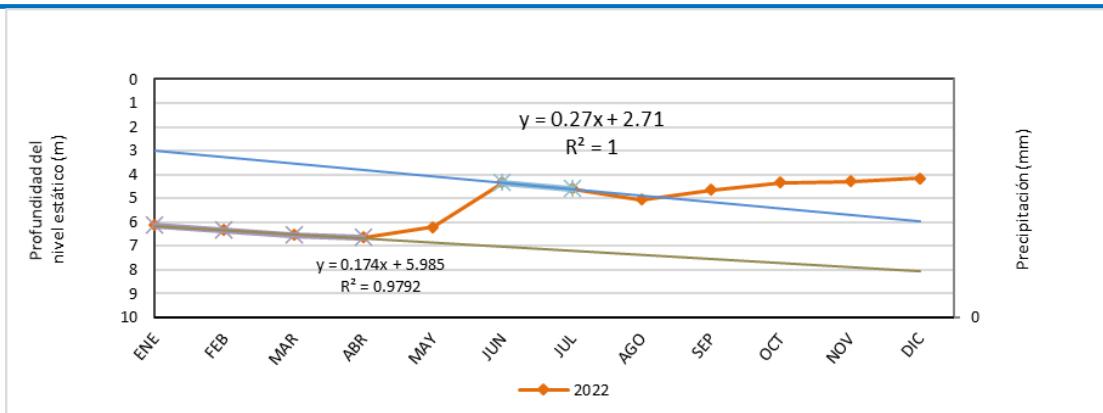
RG1	Rg2			Total
7.44	7.01			
1.09	3.90			4.99



RG1	Rg2	Rg3	Total
9.07			
7.06			7.06

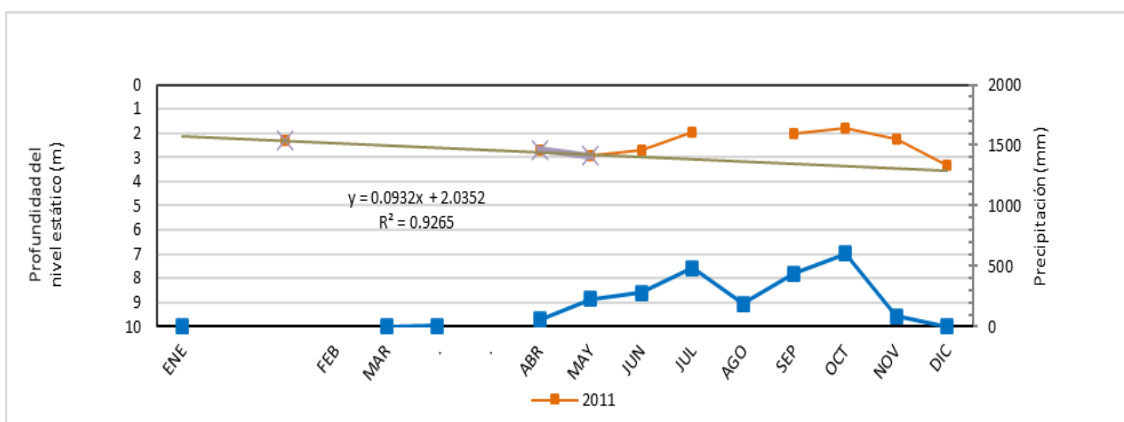


RG1	Rg2	Rg3	Total
7.28	5.15		
2.37	0.39		2.76

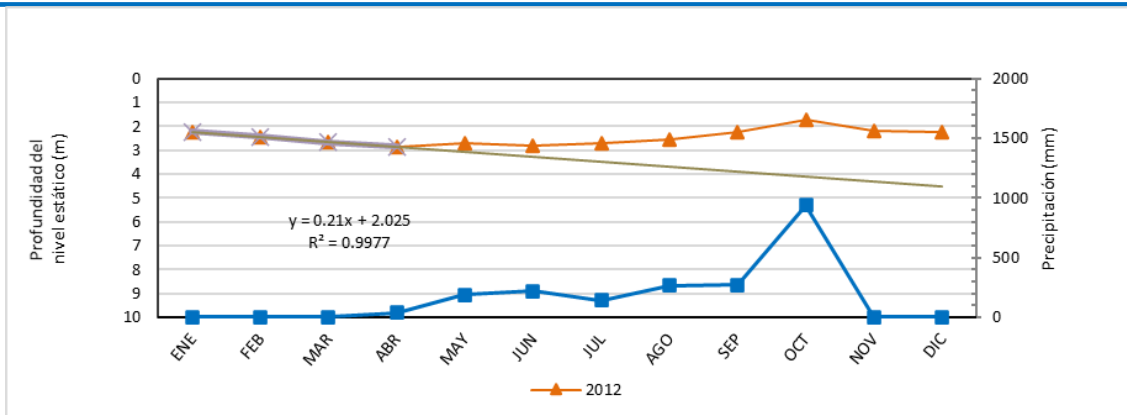


RG1	Rg2	Rg3	Total
7.03	5.95		
2.70	1.79		4.49

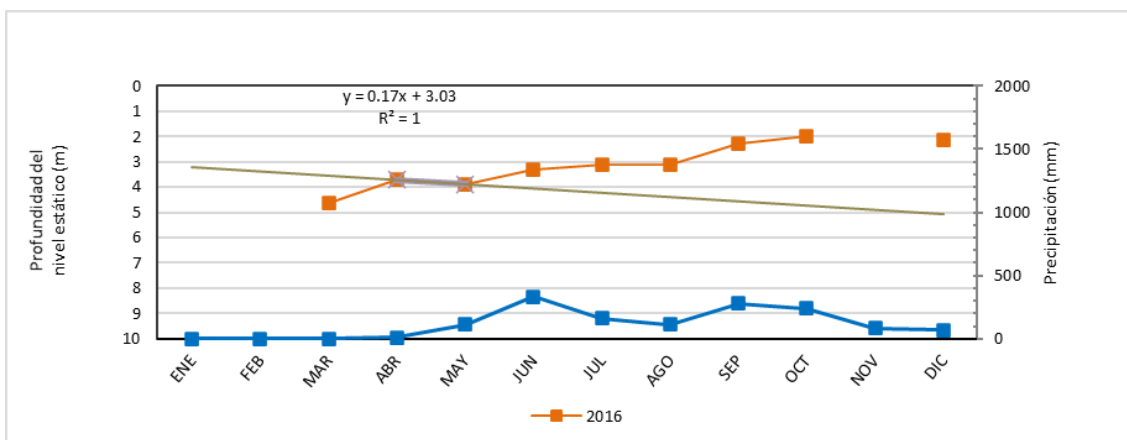
### Pozo: Cabinas Olga



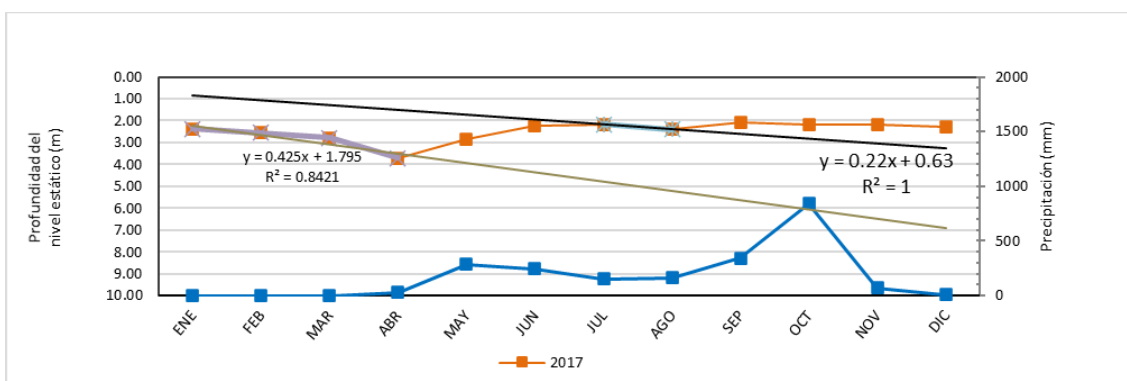
RG1	Rg2	Rg3	Total
2.97			
1.17			1.17



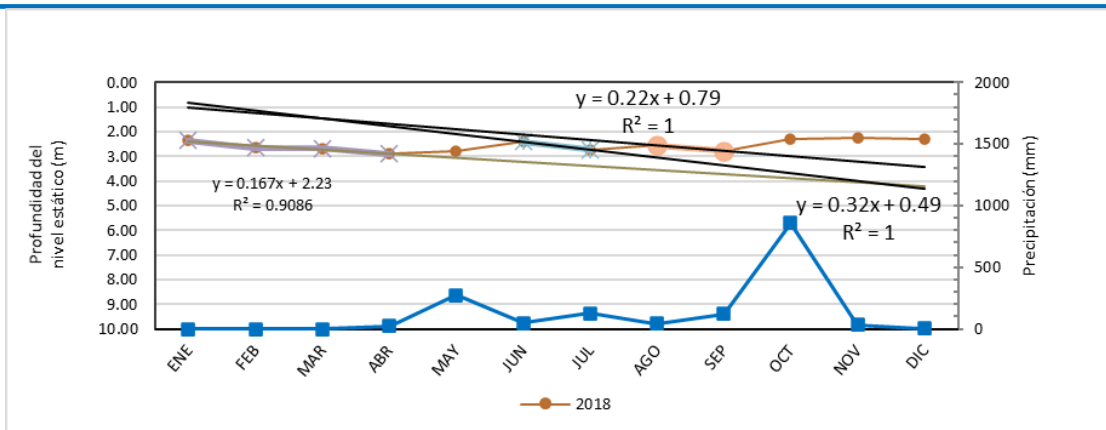
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.13			
2.42			2.42



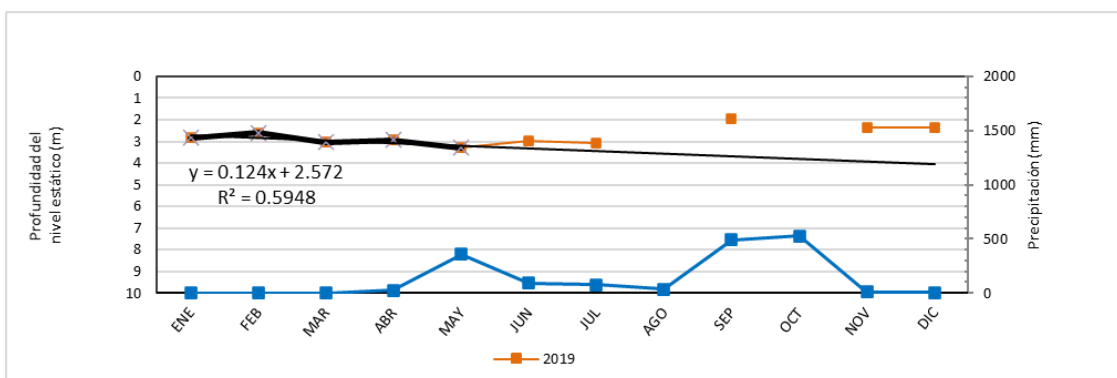
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.73			
2.72			2.72



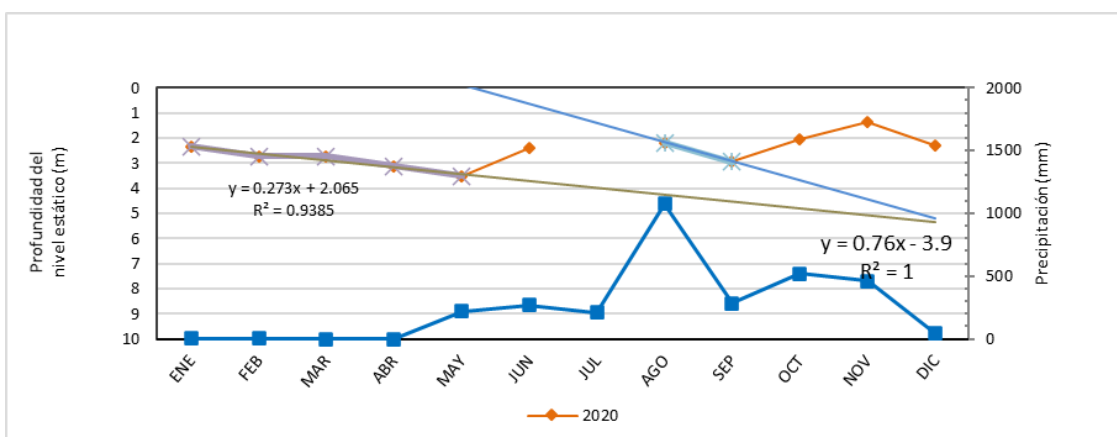
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.77	2.61		
2.60	0.54		3.14



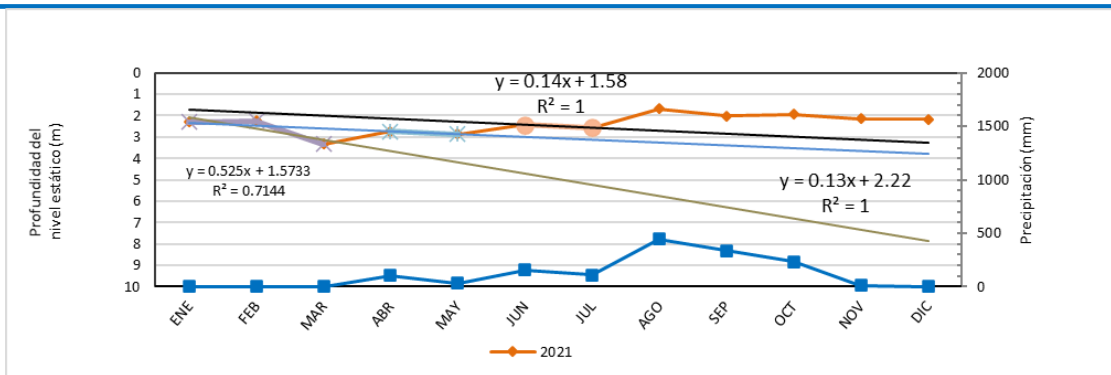
RG1	Rg2	Rg3	Total
3.23	3.05	3.21	
0.82	0.50	0.97	2.29



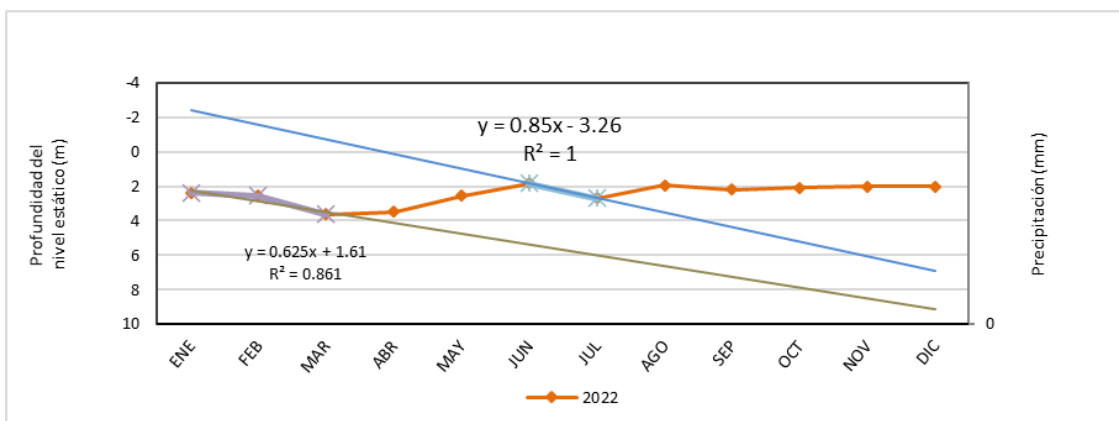
RG1	Rg2			Total
3.69				
1.75				1.75



RG1	Rg2	Rg3	Total
3.70	2.18		
1.86	0.23		2.09

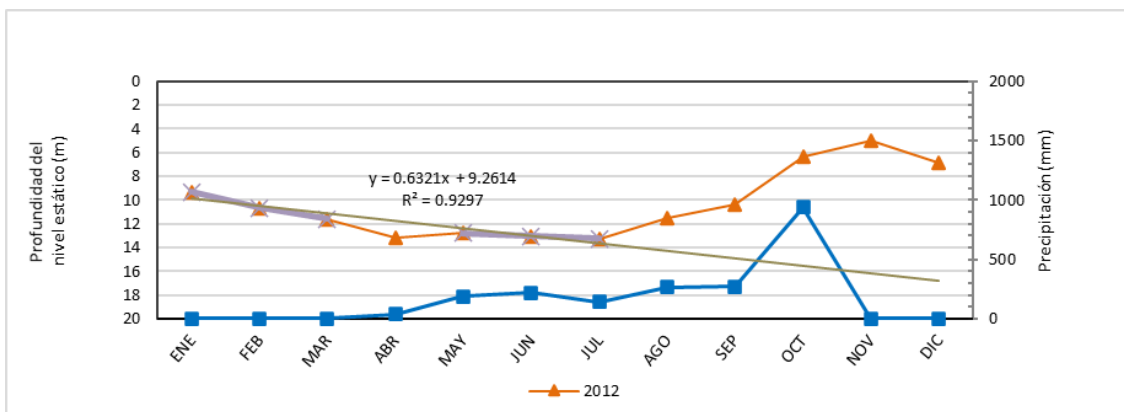


RG1	Rg2	Rg3	Total
3.67	3.00	2.70	
0.93	0.58	1.01	2.52



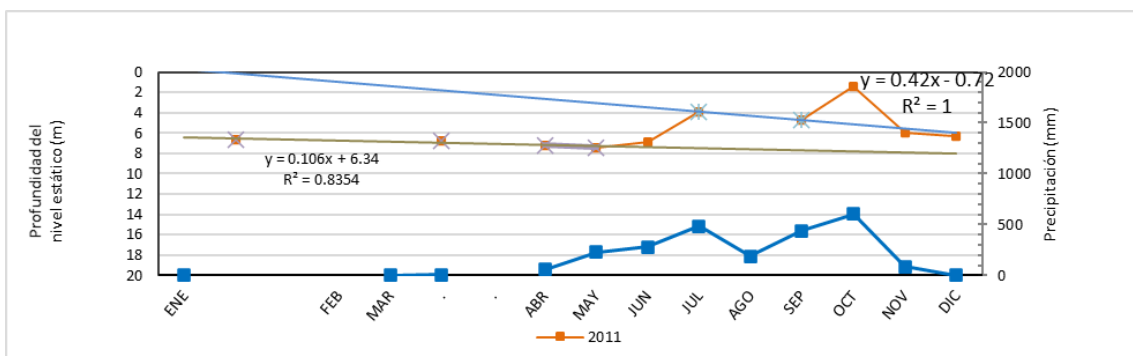
RG1	Rg2	Rg3	Total
5.36	3.54		
3.52	1.59		5.11

### Pozo Carlos & Carlos Ristorante

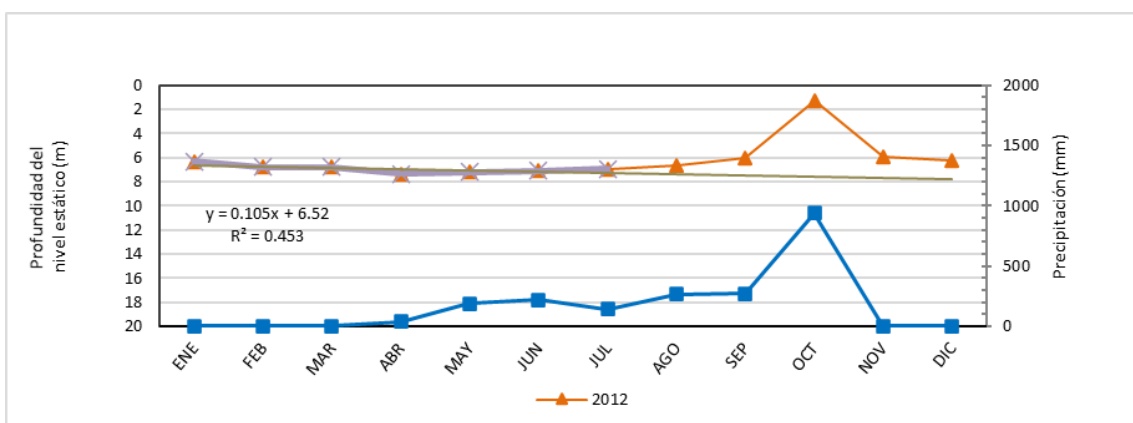


RG1	Rg2	Rg3	Total
16.21			
11.25			11.25

### Pozo: Colipro

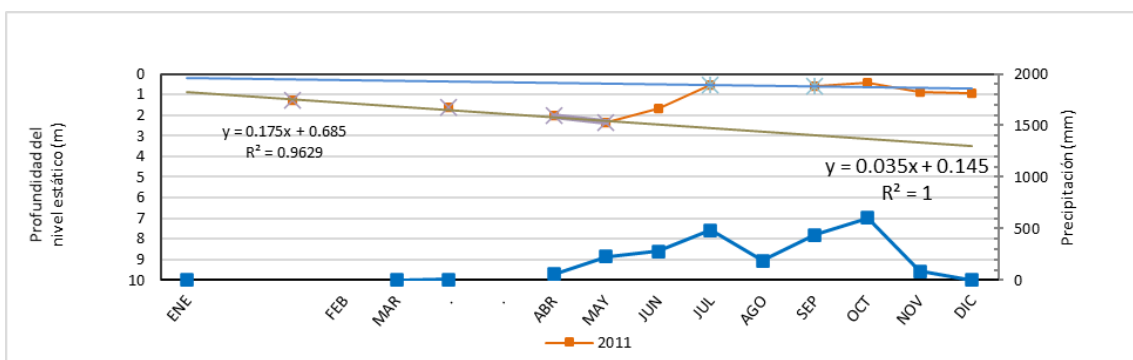


RG1	Rg2	Rg3	Total
7.51	5.16		
3.61	3.69		7.30

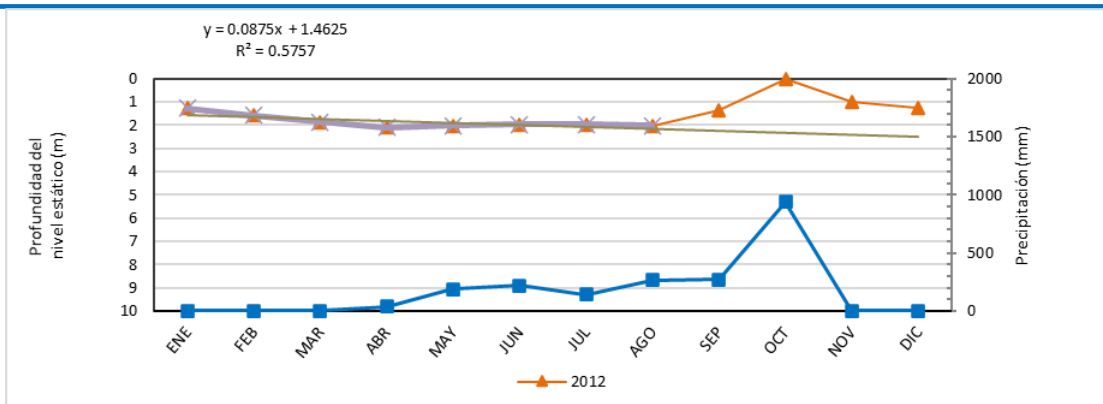


RG1	Rg2	Rg3	Total
7.57			
6.25			6.25

### Pozo Carlos Alfaro, Gato 1

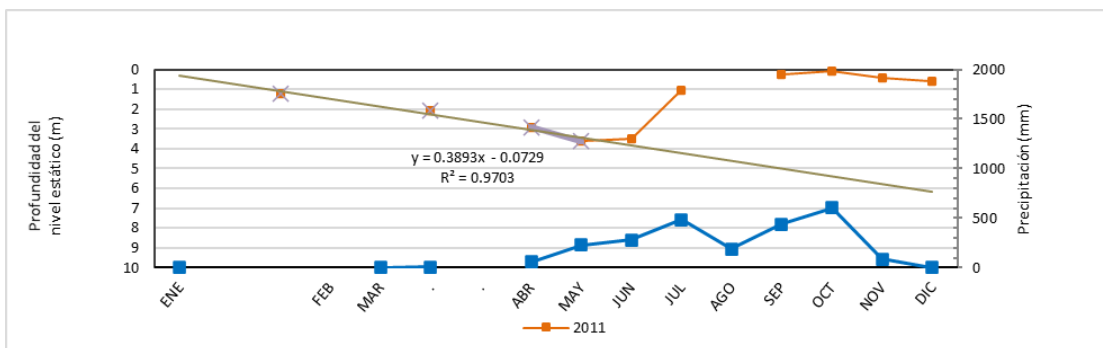


RG1	Rg2	Rg3	Total
2.61	0.64		
2.08	0.24		2.32

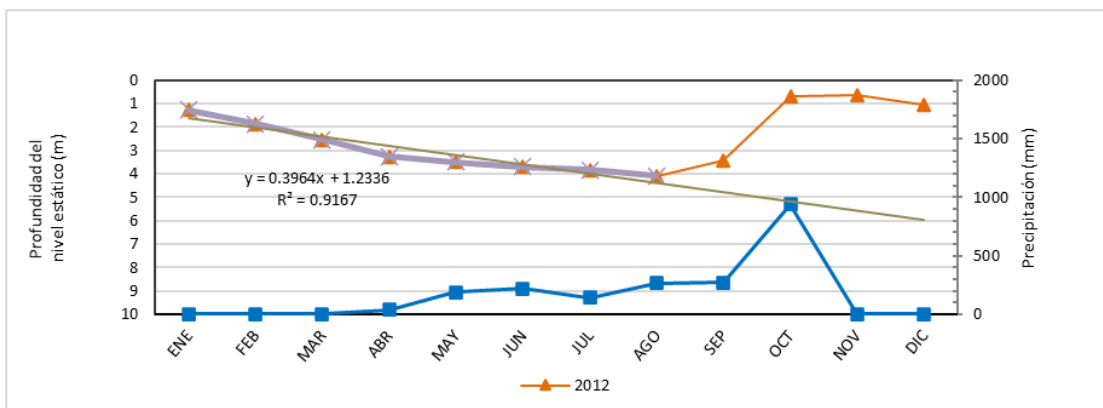


RG1	Rg2	Rg3	Total
2.34			
2.34			2.34

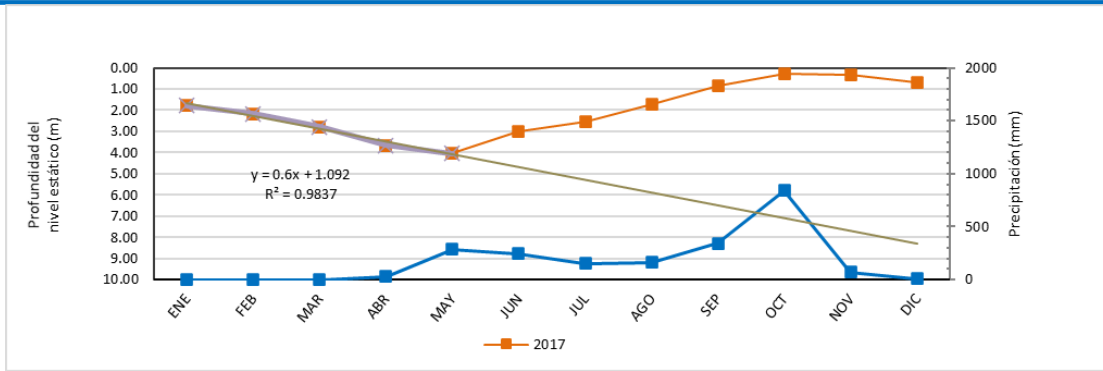
### Pozo Carlos Alfaro, Gato 2



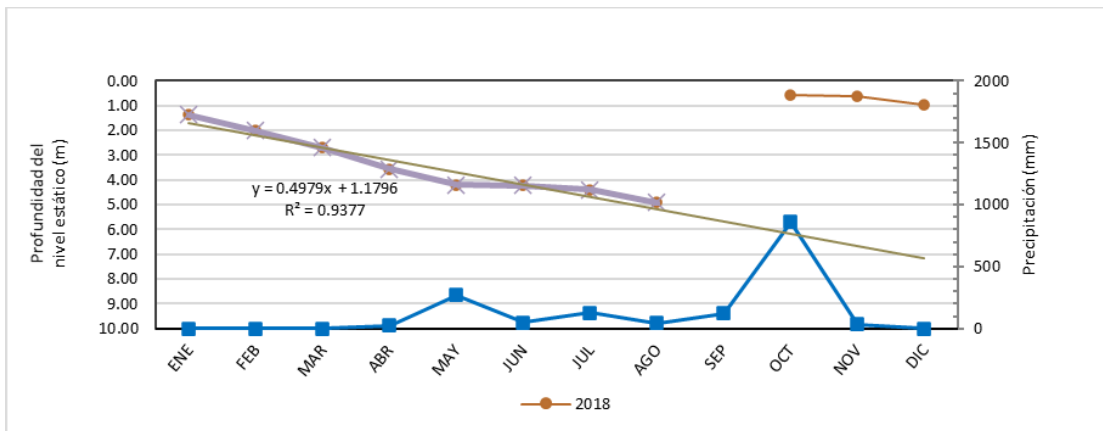
RG1	Rg2	Rg3	Total
3.82			
3.74			3.74



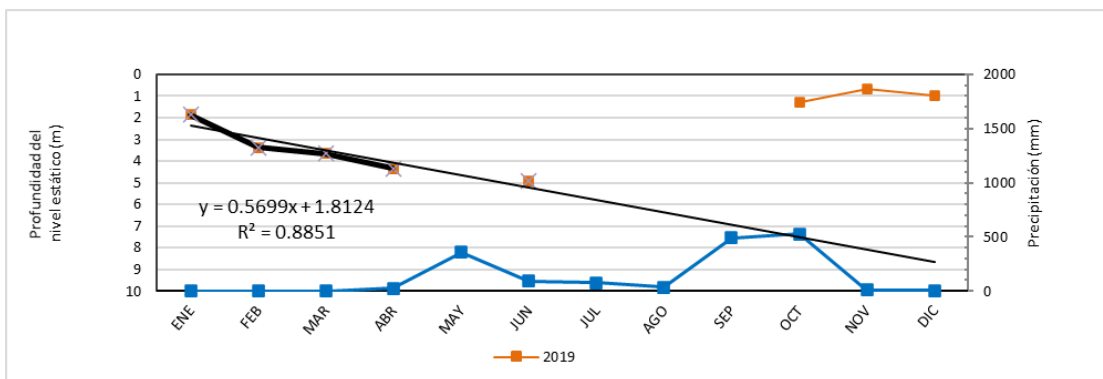
RG1	Rg2	Rg3	Total
5.48			
4.86			4.86



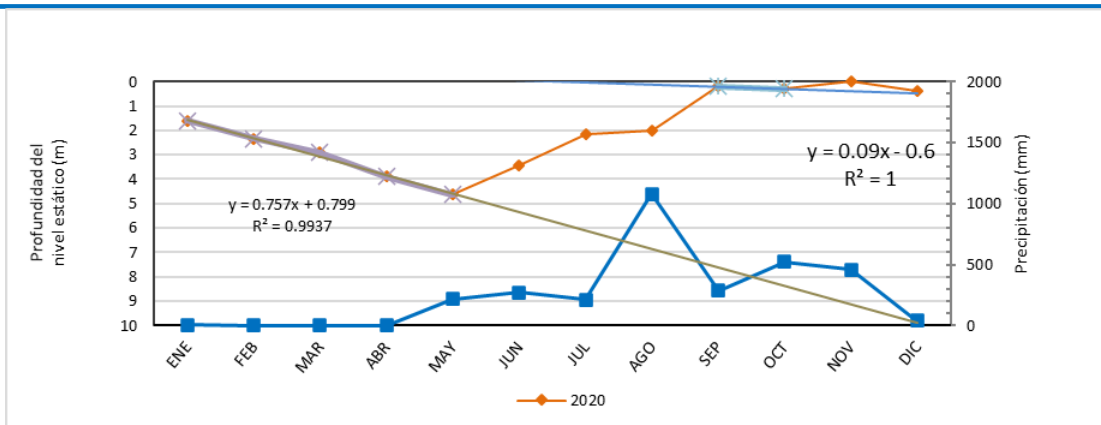
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.09			
6.82			6.82



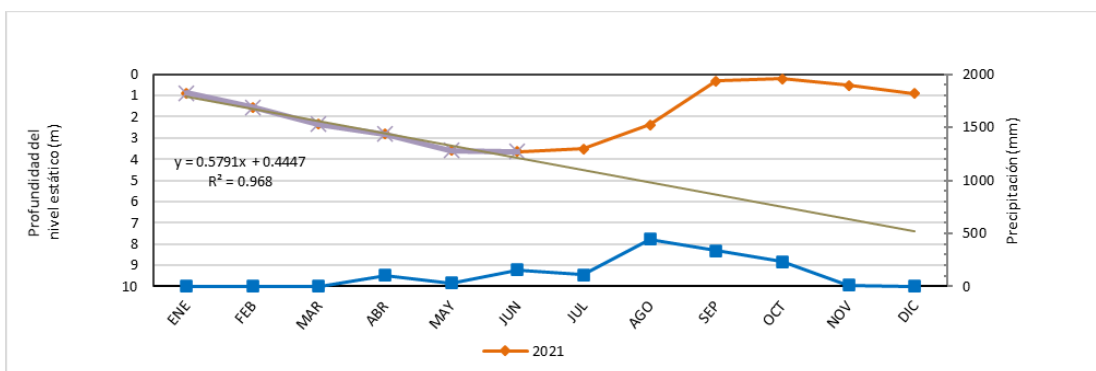
RG1	Rg2	Rg3	Total
6.16			
5.61			5.61



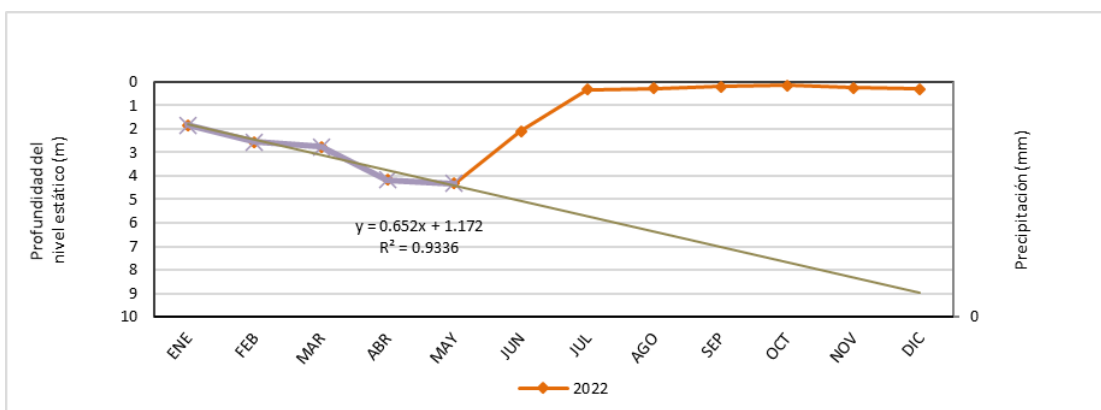
RG1	Rg2	Rg3	Total
8.08			
7.43			7.43



RG1	Rg2	Rg3	Total
7.61	0.39		
<b>7.40</b>	<b>0.39</b>		<b>7.79</b>

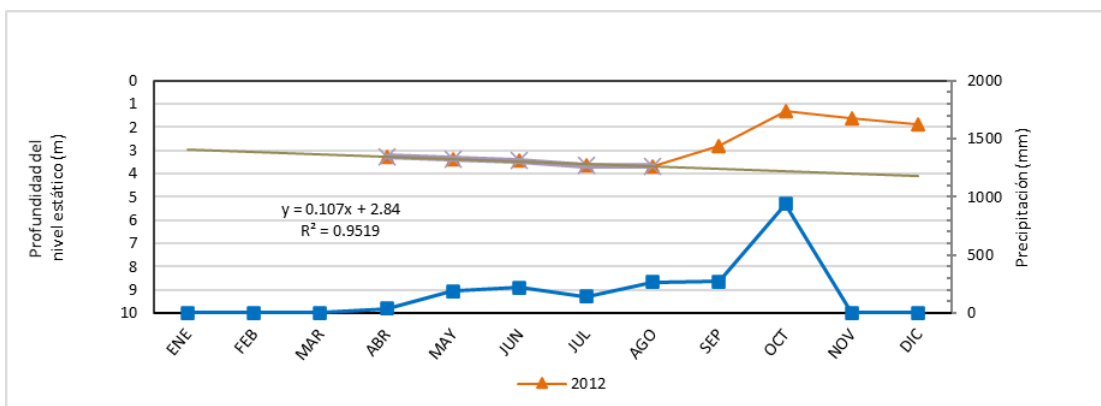


RG1	Rg2	Rg3	Total
5.93			
<b>5.42</b>			<b>5.42</b>



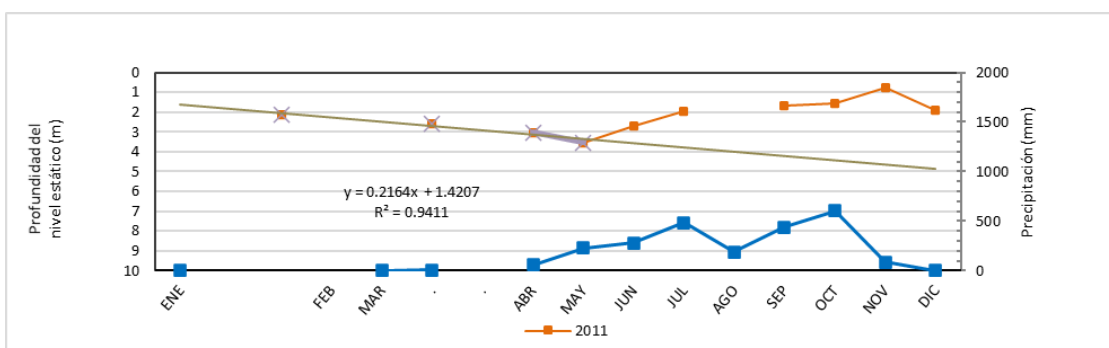
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.69			
<b>7.54</b>			<b>7.54</b>

### Pozo Carlos Alfaro, Gato 3 ASADA

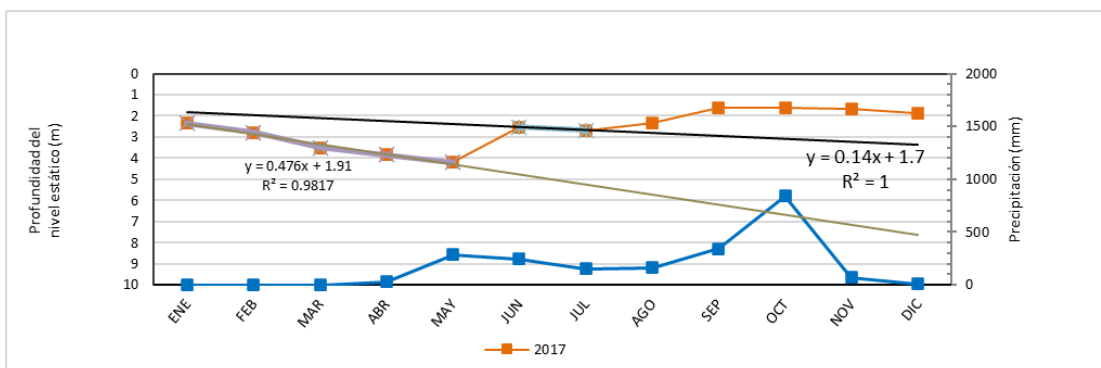


RG1	Rg2	Rg3	Total
3.91			
2.61			2.61

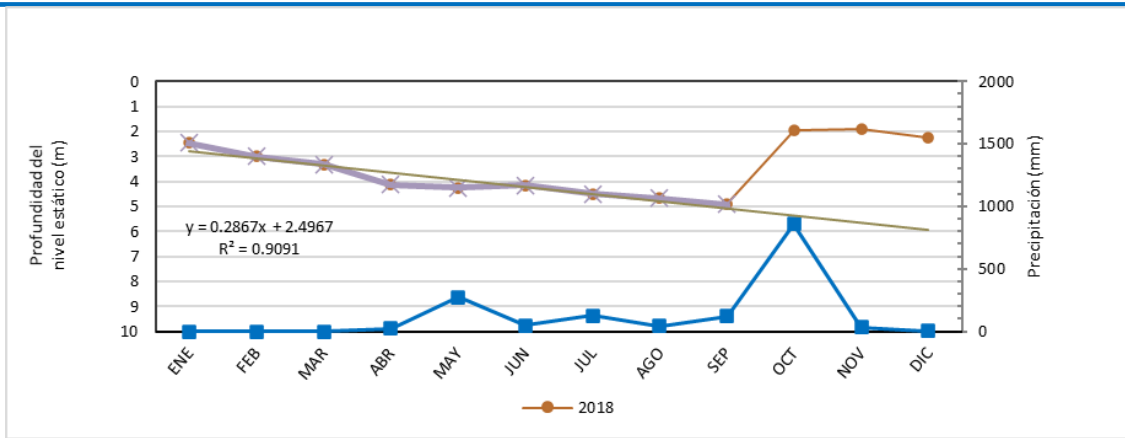
### Pozo Carlos Alfaro, Gato 3, piezómetro



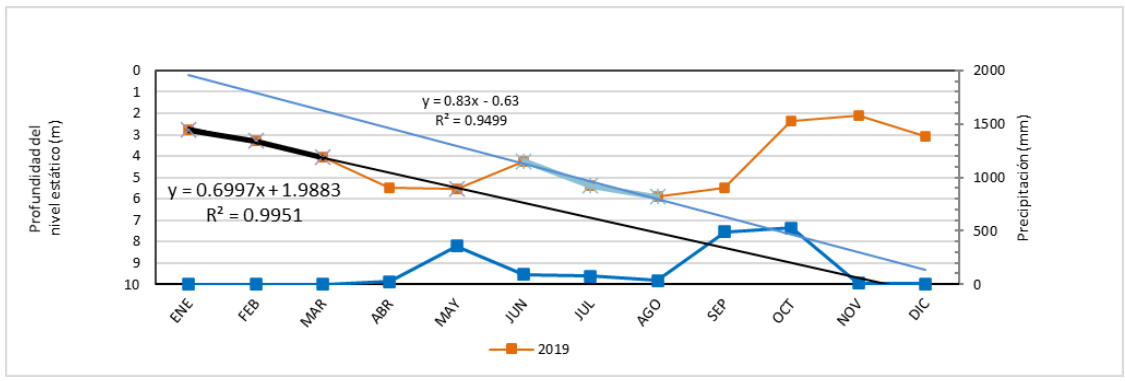
RG1	Rg2	Rg3	Total
3.80			
3.03			3.03



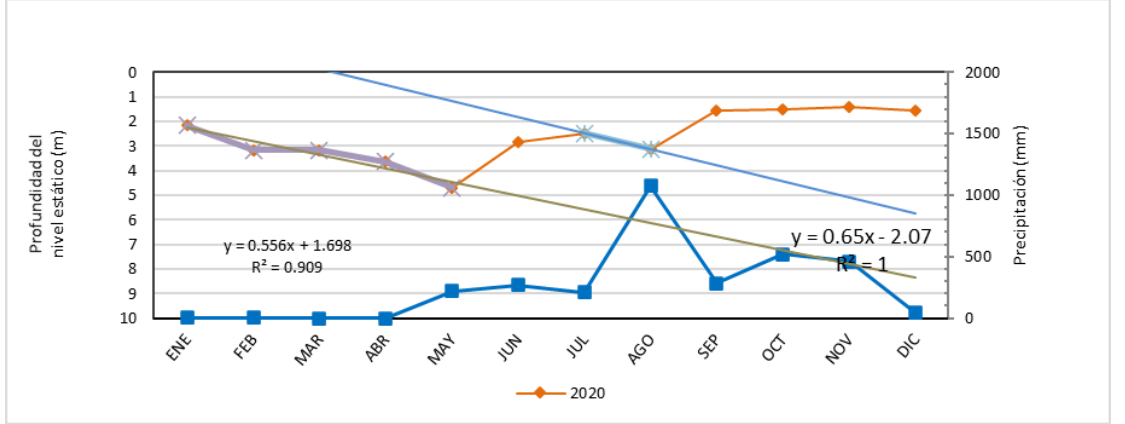
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.77	2.96		
2.23	1.32		3.55



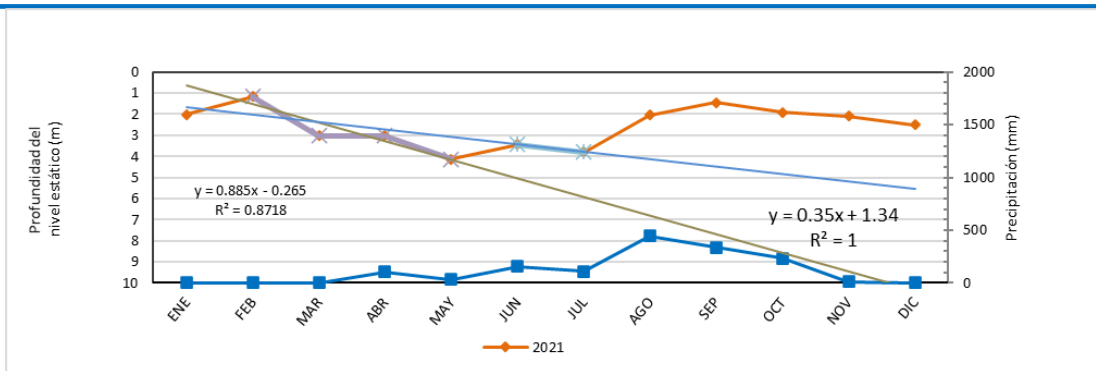
RG1	Rg2	Rg3	Total
5.36			
3.39			3.39



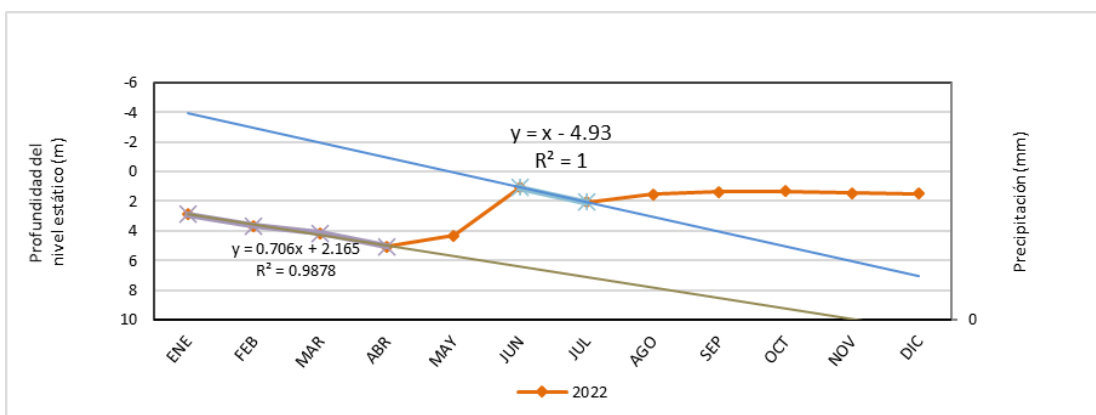
RG1	Rg2	Total
6.19	8.50	
1.28	6.38	7.66



RG1	Rg2	Rg3	Total
5.59	5.08		
3.11	3.66		6.77

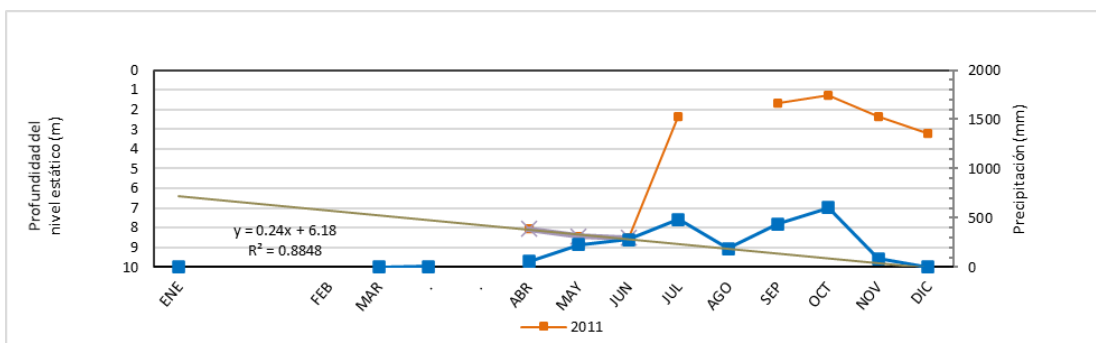


RG1	Rg2	Rg3	Total
5.05	4.49		
1.61	3.04		4.65

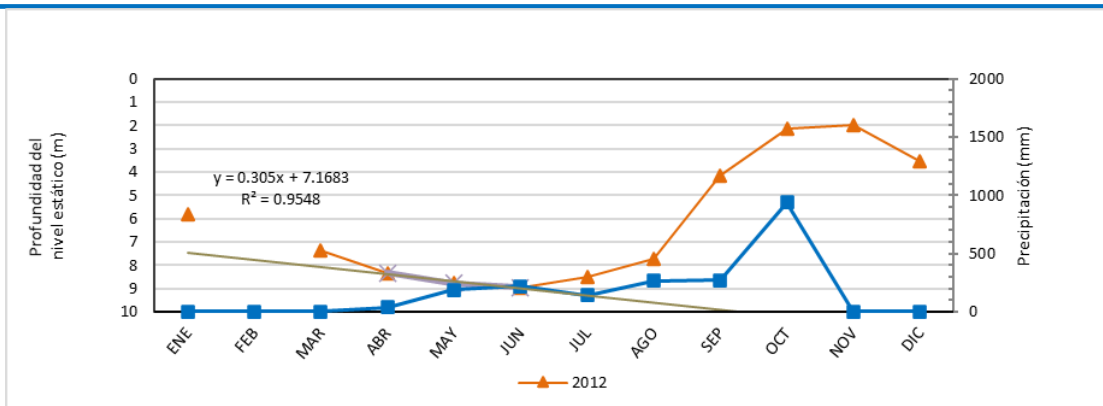


RG1	Rg2	Rg3	Total
6.40	5.07		
5.33	3.74		9.07

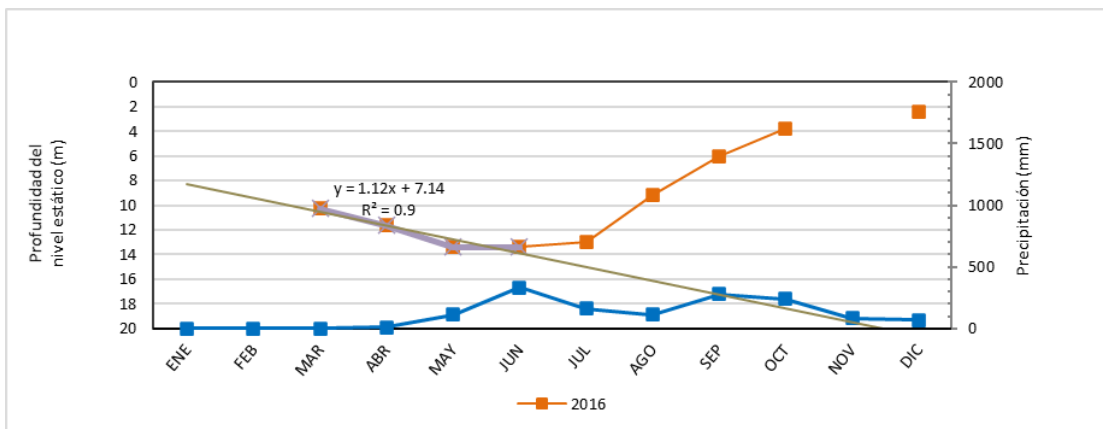
### Pozo Carlos Alfaro, Gato 4



RG1	Rg2	Rg3	Total
9.54			
7.16			7.16

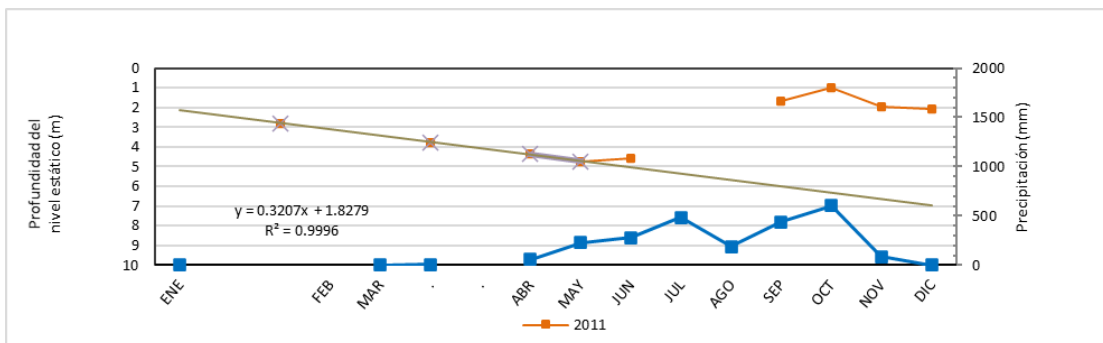


RG1	Rg2	Rg3	Total
10.83			
8.86			8.86

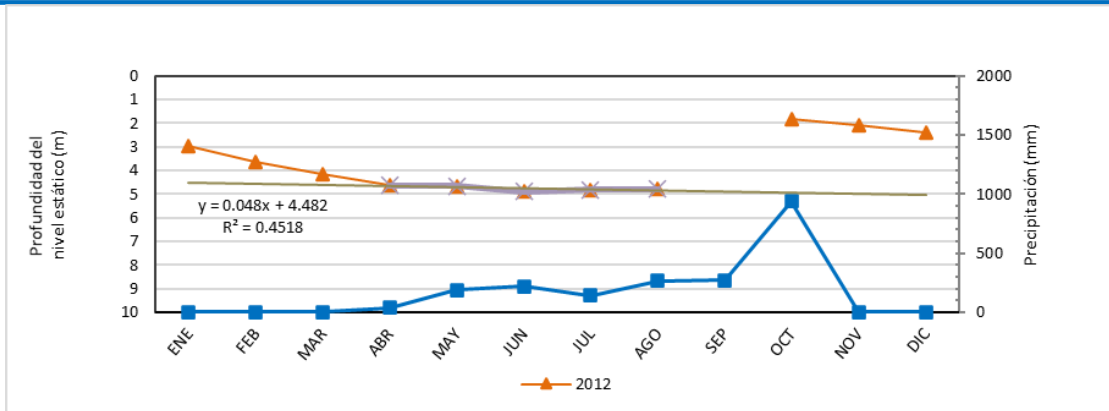


RG1	Rg2	Rg3	Total
20.58			
18.17			18.17

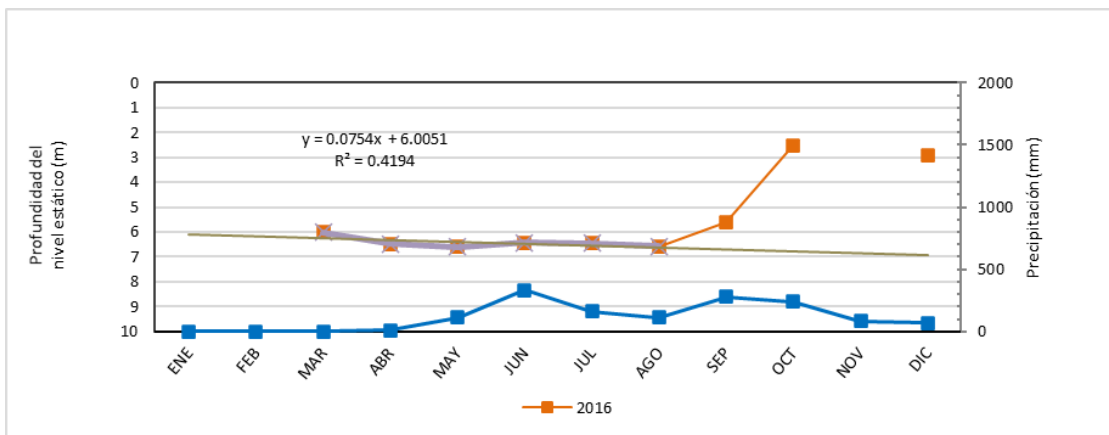
### Pozo Carlos Alfaro, Gato 5



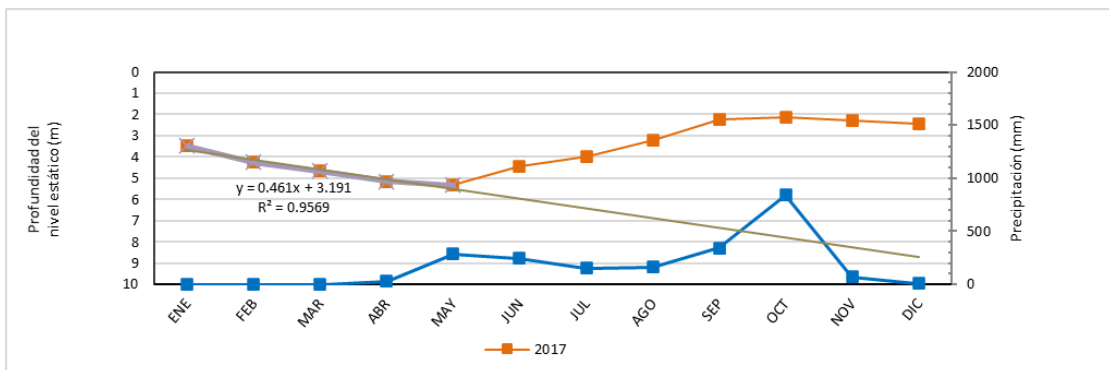
RG1	Rg2	Rg3	Total
6.32			
5.32			5.32



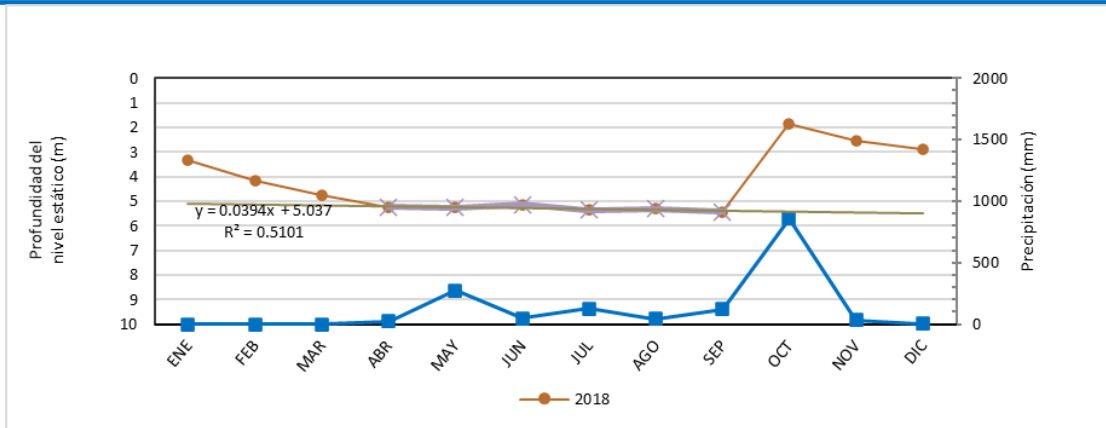
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.96			
3.14			3.14



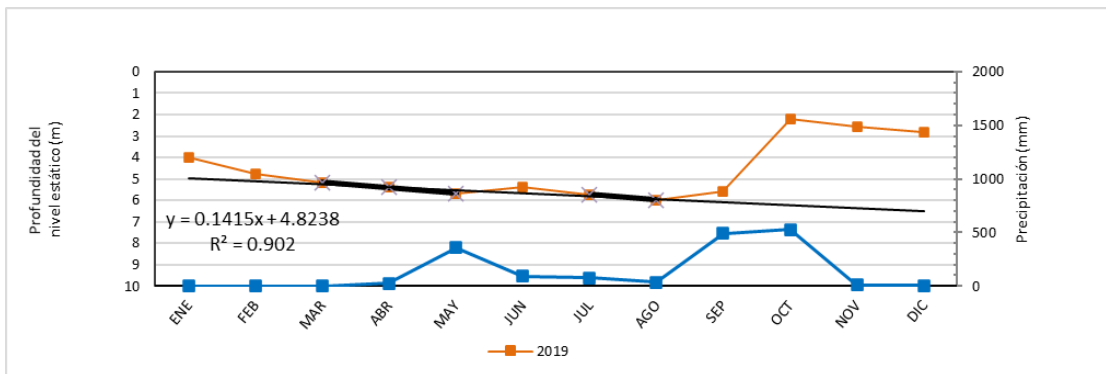
RG1	Rg2	Rg3	Total
6.76			
4.23			4.23



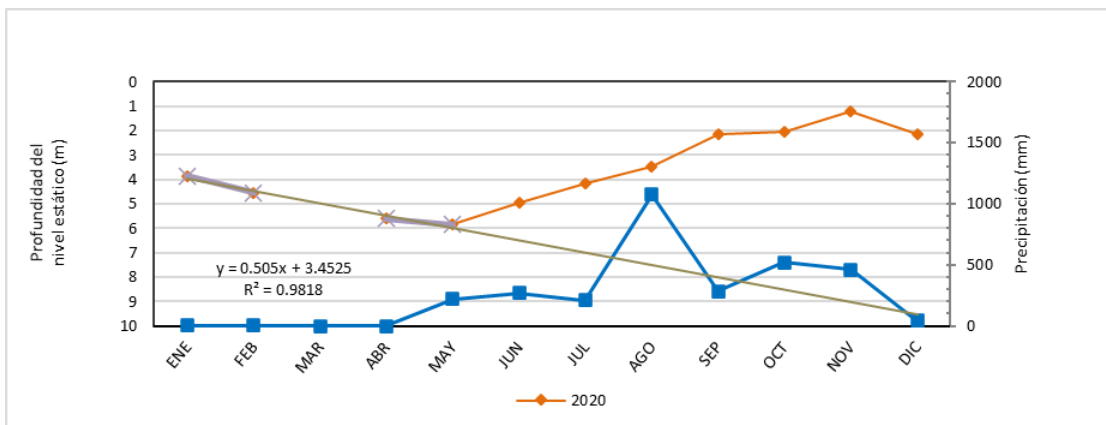
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.80			
5.69			5.69



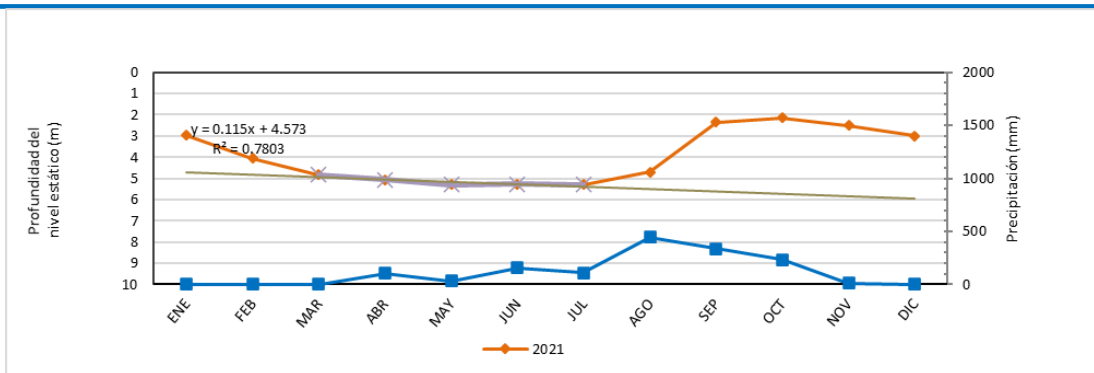
RG1	Rg2	Rg3	Total
5.43			
3.59			3.59



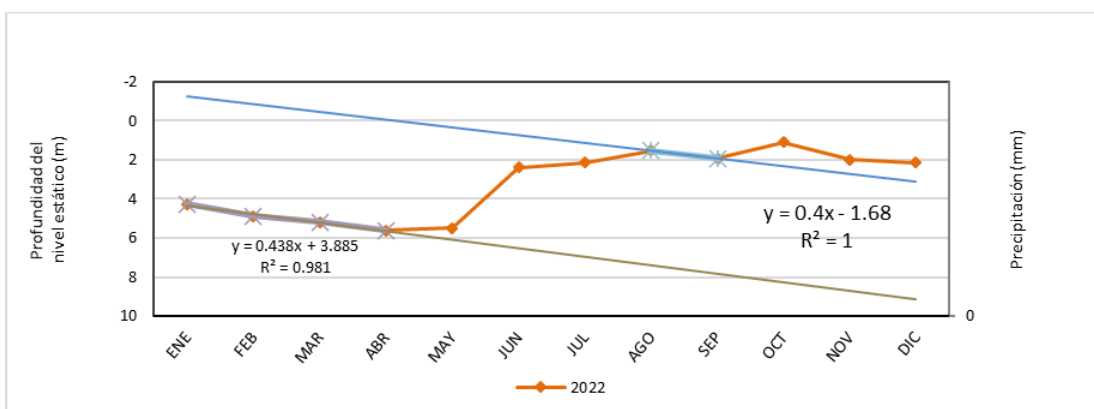
RG1	Rg2	Total
6.24		
4.01		4.01



RG1	Rg2	Rg3	Total
9.01			
7.79			7.79

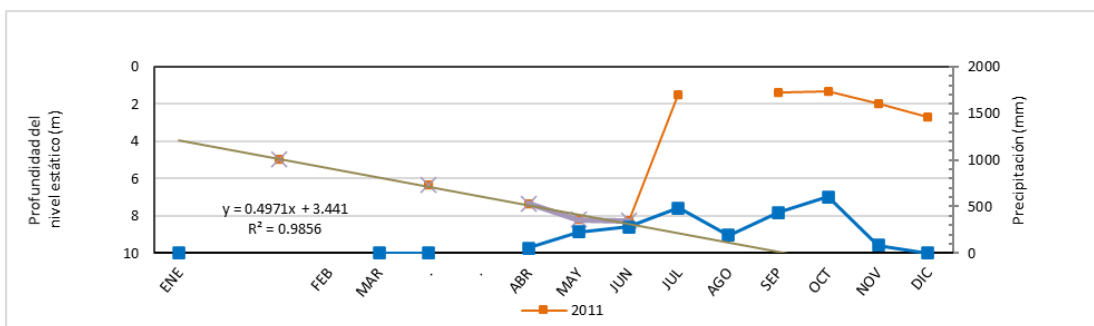


RG1	Rg2	Rg3	Total
5.72			
3.57			3.57

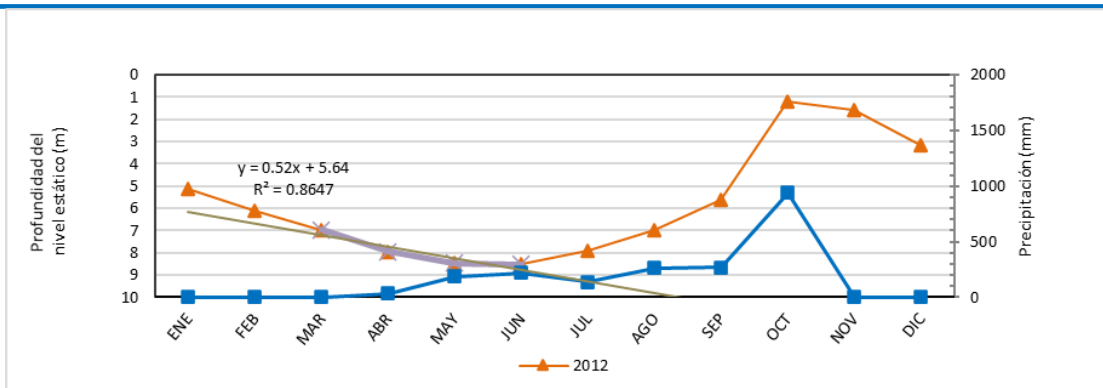


RG1	Rg2	Rg3	Total
7.39	2.32		
5.87	1.22		7.09

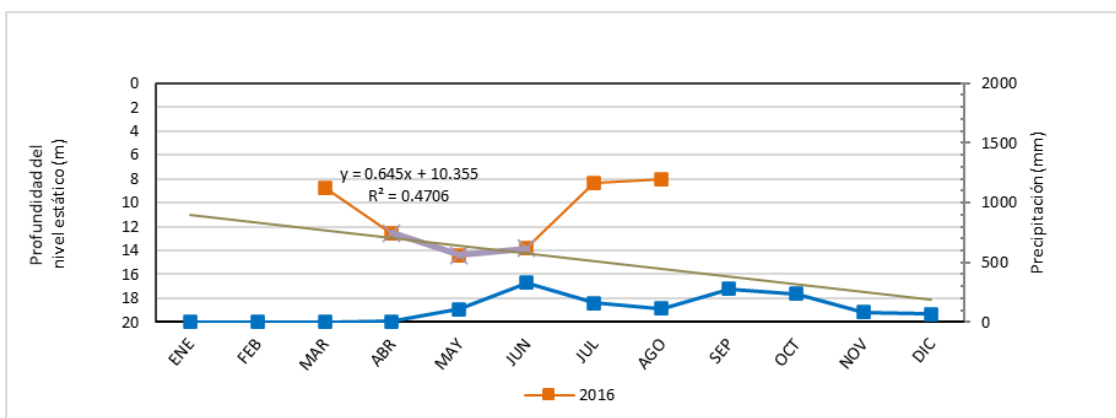
### Pozo Carlos Alfaro, Gato 6



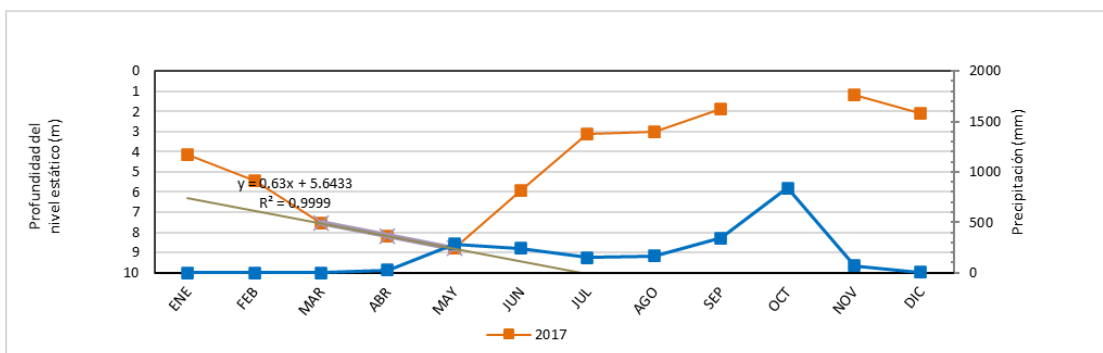
RG1	Rg2	Rg3	Total
10.40			
9.09			9.09



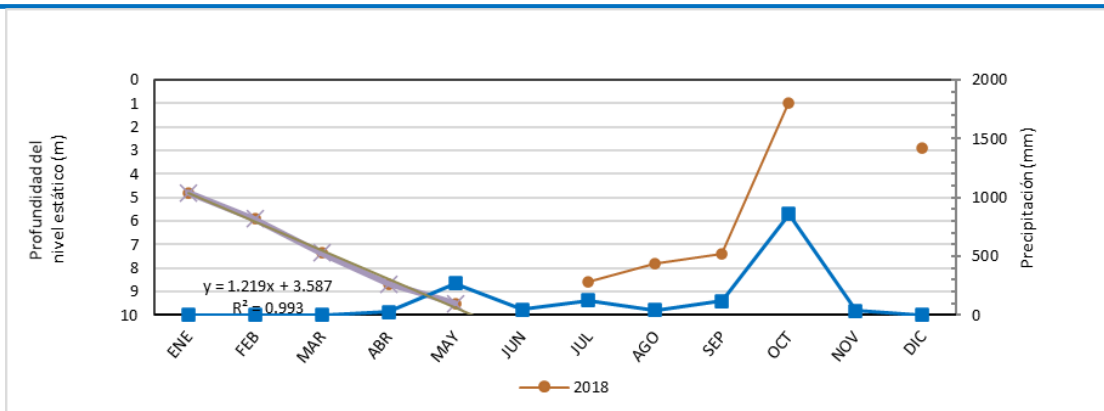
RG1	Rg2	Rg3	Total
10.84			9.63
9.63			



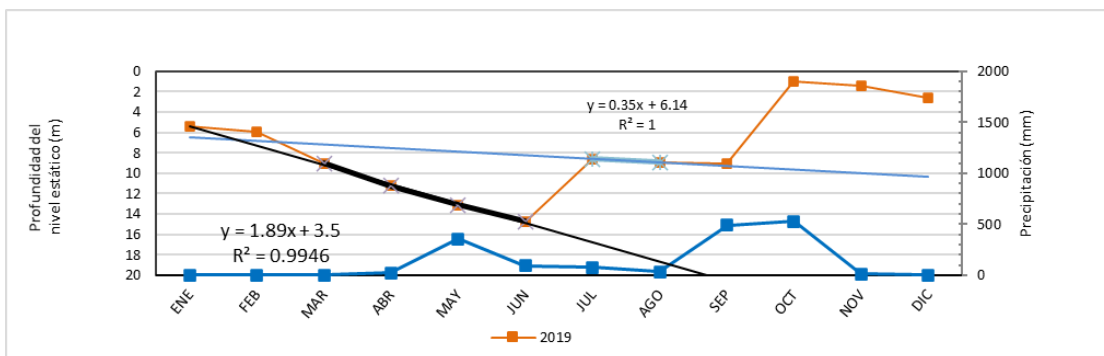
RG1	Rg2	Rg3	Total
14.87			6.47
6.47			



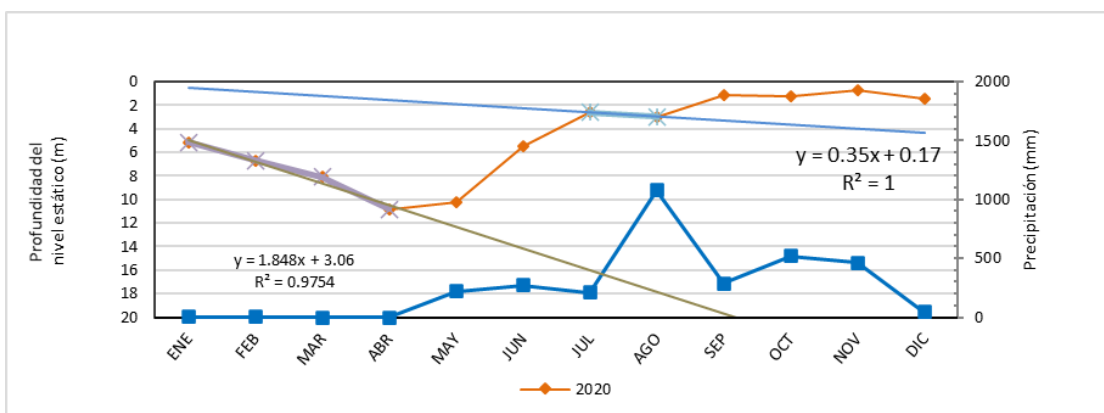
RG1	Rg2	Rg3	Total
12.57			11.38
11.38			



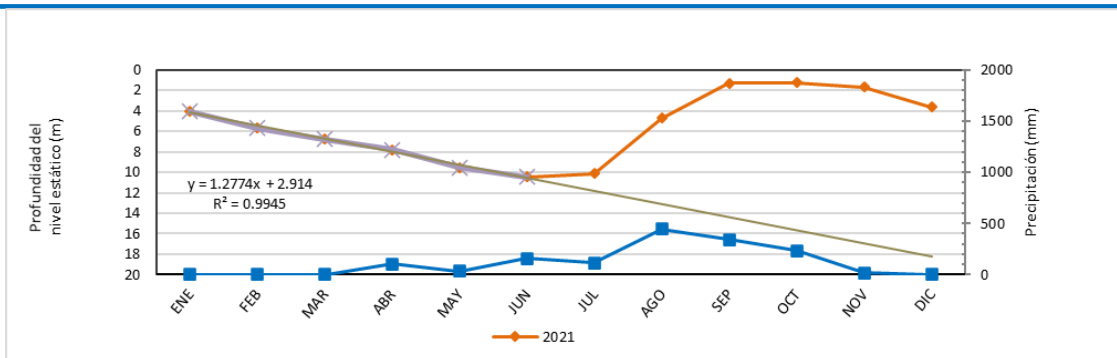
RG1	Rg2	Rg3	Total
15.78			
14.79			14.79



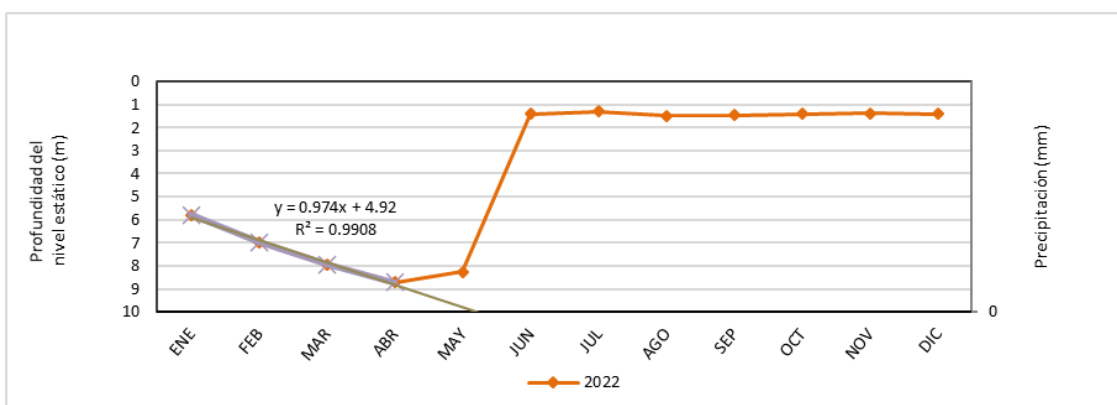
RG1	Rg2	Rg3	Total
16.73	9.64		
8.14	8.65		16.79



RG1	Rg2	Rg3	Total
16.00	3.67		
13.38	2.90		16.28

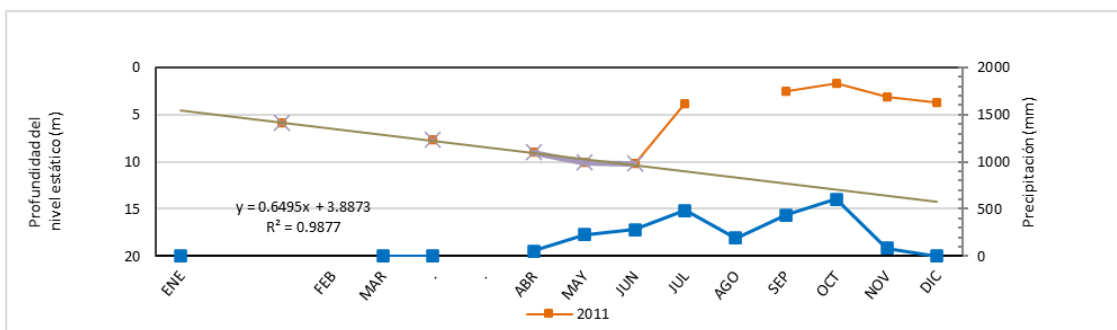


RG1	Rg2	Rg3	Total
15.69			
14.46			14.46

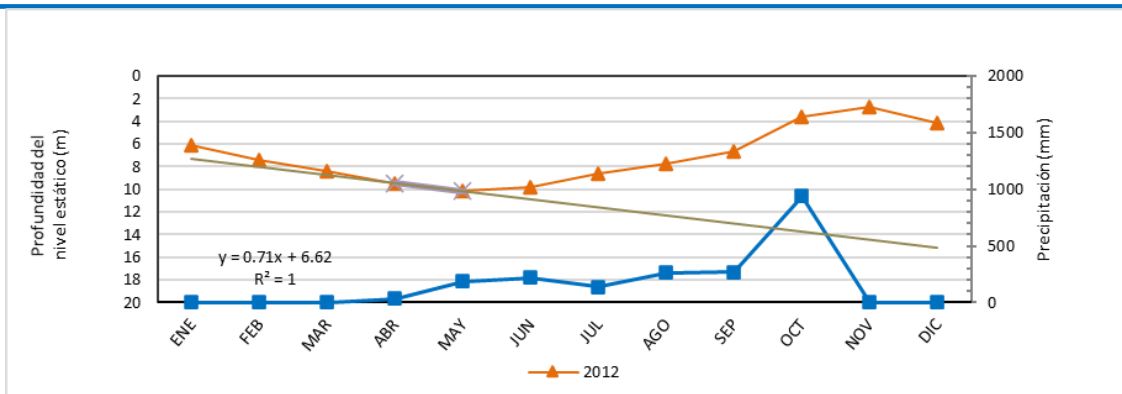


RG1	Rg2	Rg3	Total
15.63			
14.24			14.24

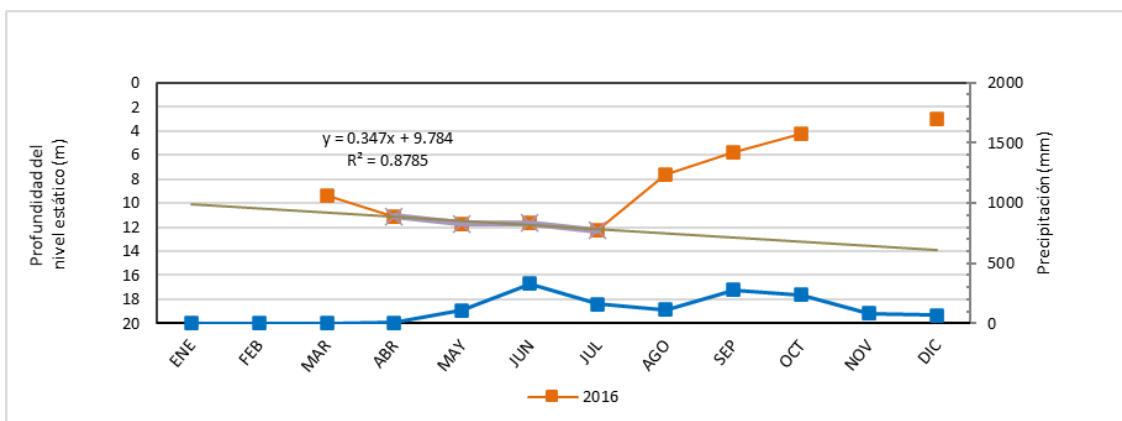
### Pozo Carlos Alfaro, Gato 7



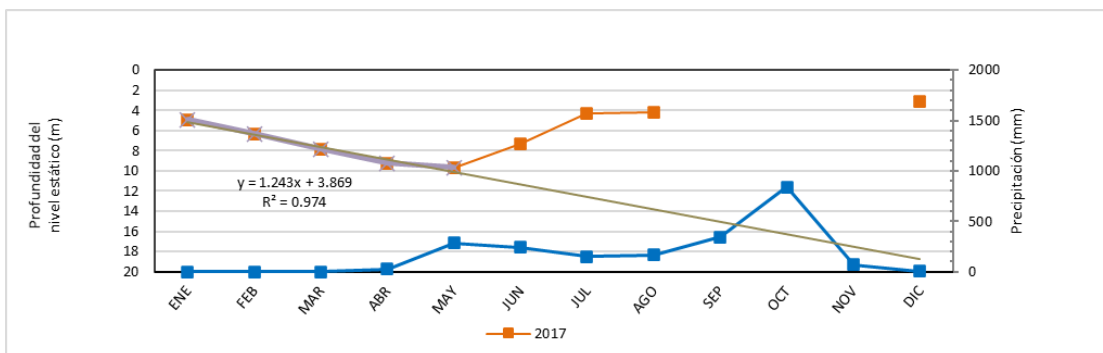
RG1	Rg2	Rg3	Total
12.98			
11.26			11.26



RG1	Rg2	Rg3	Total
15.14			
12.43			12.43

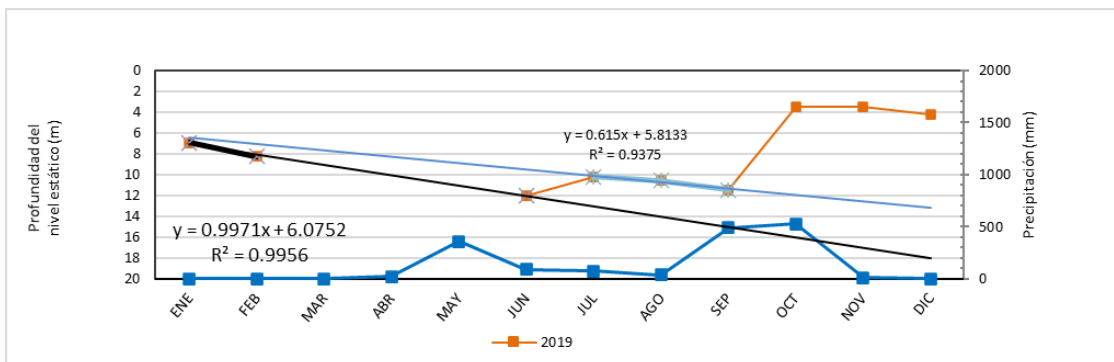


RG1	Rg2	Rg3	Total
13.95			
10.91			10.91

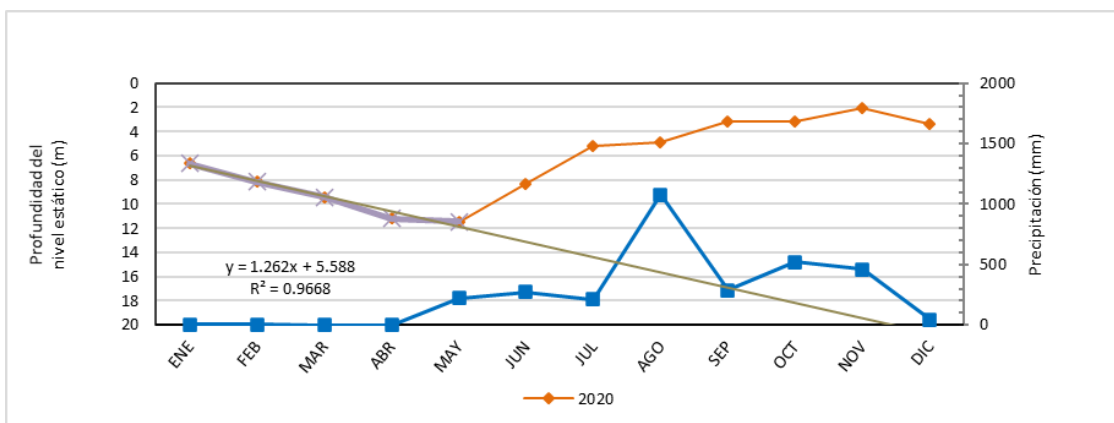


RG1	Rg2	Rg3	Total
18.79			
15.65			15.65

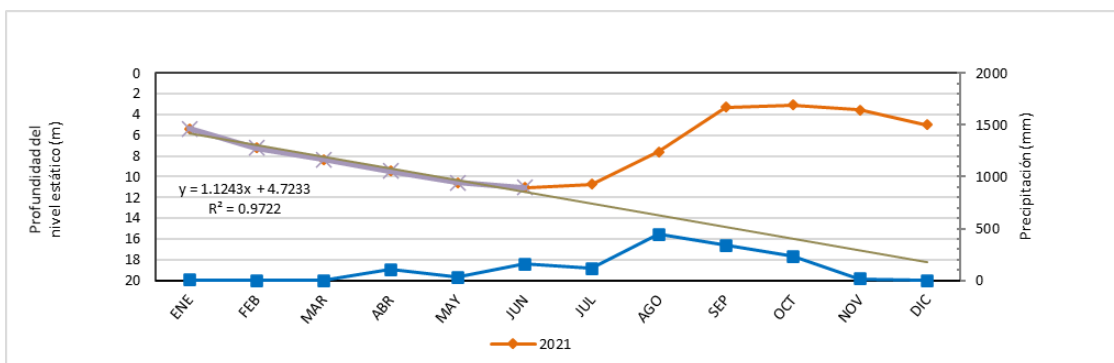
### Pozo Carlos Alfaro, Gato 7a



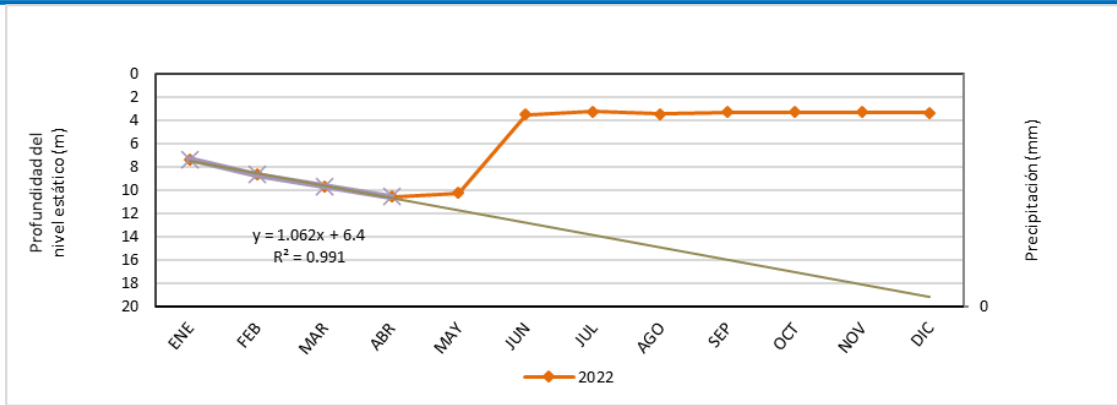
13.05	11.96			
2.84	8.47			11.32



19.47				
17.37				17.37

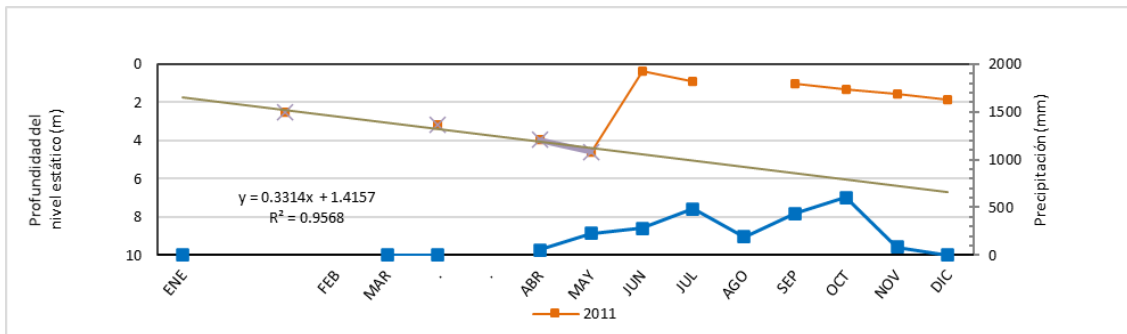


RG1	Rg2	Rg3		Total
15.97				
12.89				12.89

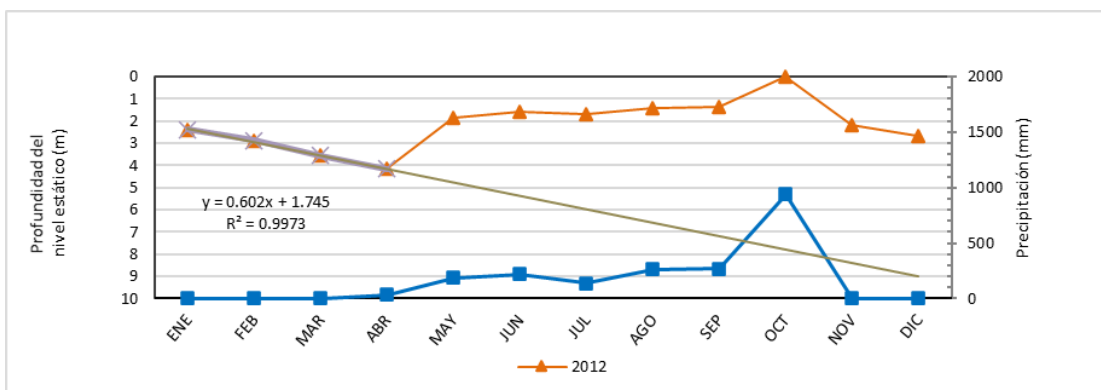


RG1	Rg2	Rg3	Total
18.08			
14.79			14.79

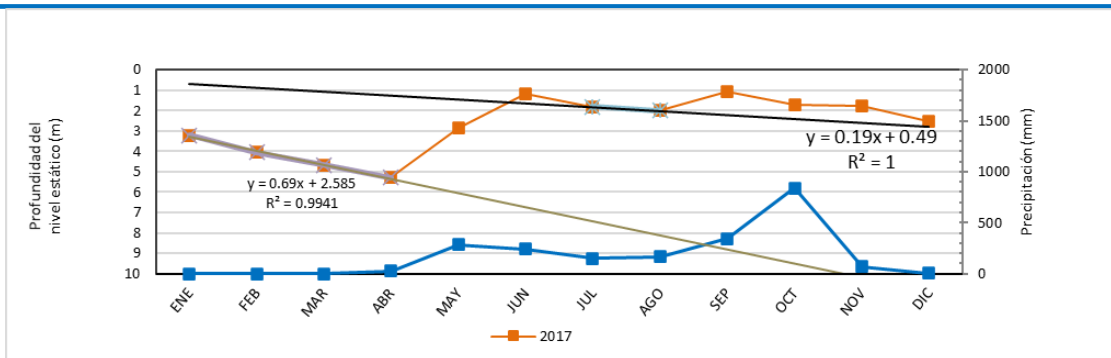
### Pozo: Lote Marcos Rojas



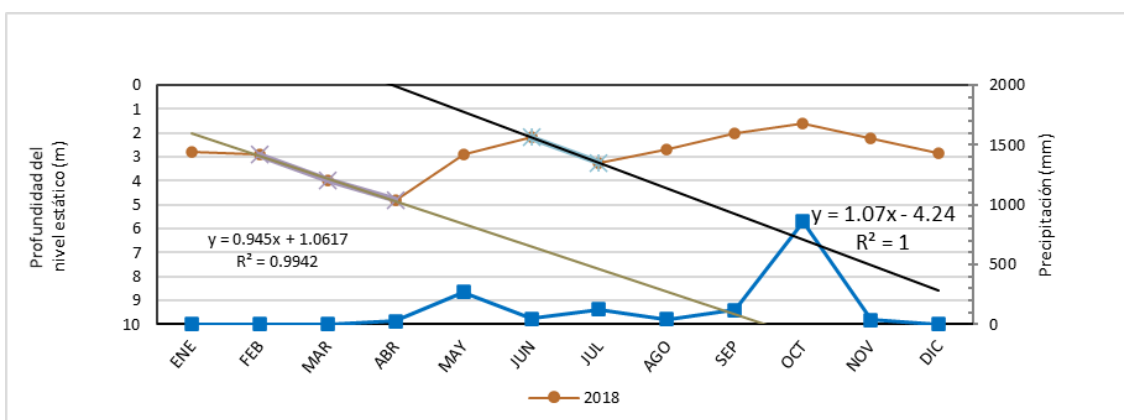
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.73			
4.39			4.39



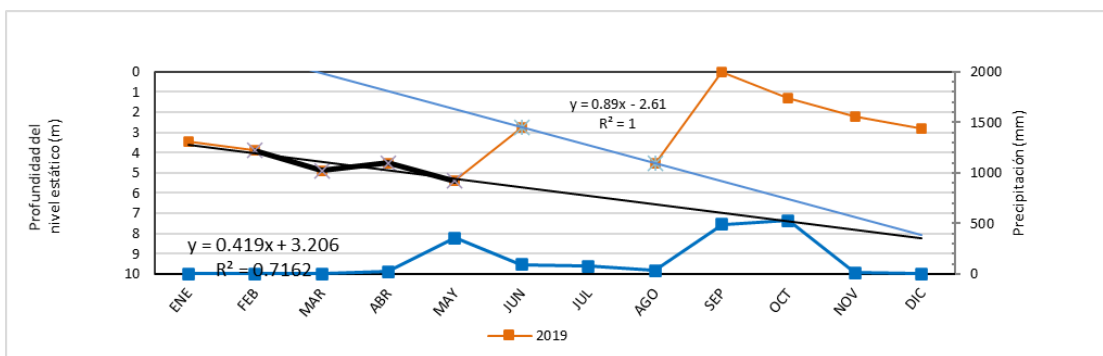
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.77			
7.77			7.77



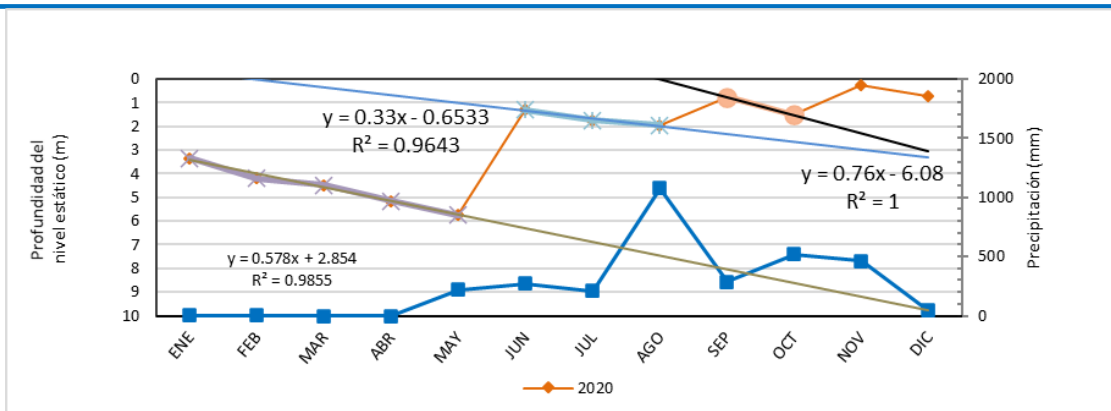
RG1	Rg2	Rg3	Total
6.73	2.20		
5.57	1.13		6.70



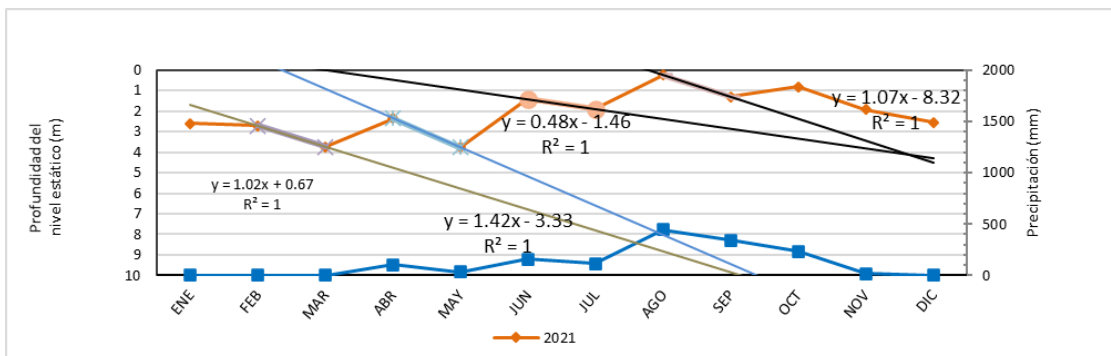
RG1	Rg2	Rg3	Total
6.73	6.46		
4.55	4.86		9.41



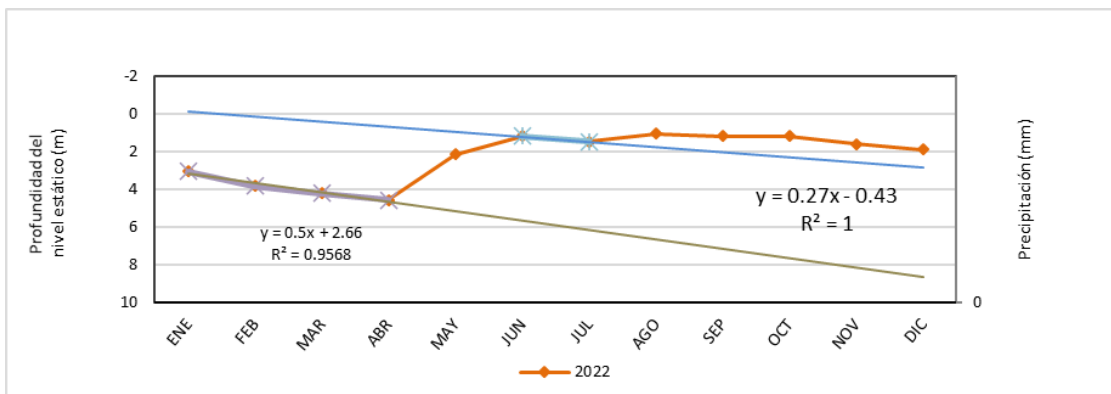
RG1	Rg2	Rg3	Total
5.72	5.40		
2.99	5.40		8.39



RG1	Rg2	Rg3	Total
6.32	2.32	2.28	
5.03	1.56	2.00	8.59

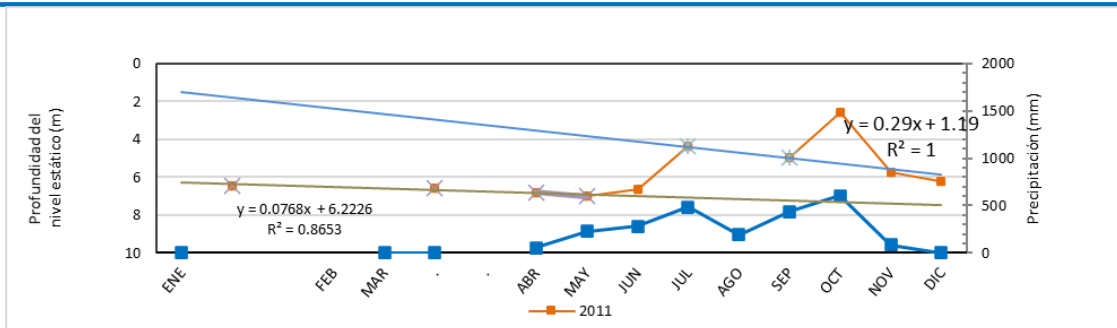


RG1	Rg2	Rg3	Rg4	Total
4.75	5.19	2.38	2.38	
2.40	3.77	2.14	1.57	9.88

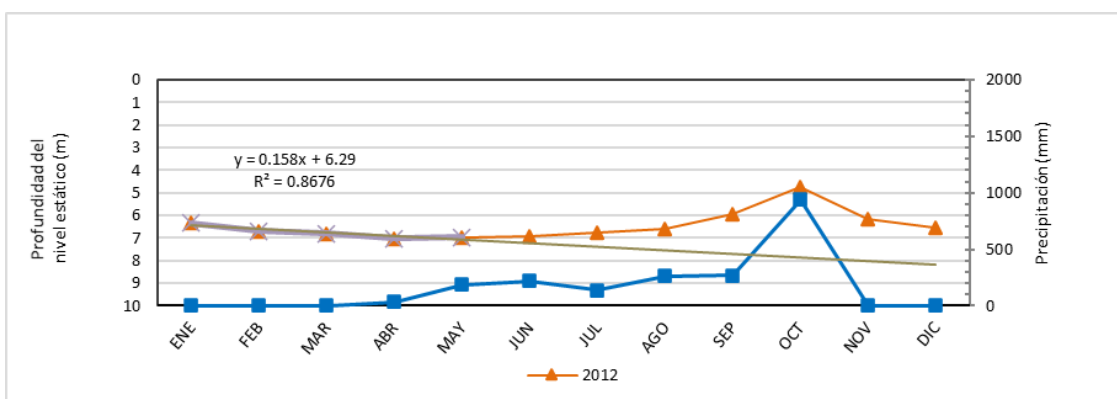


RG1	Rg2	Rg3	Total
5.66	1.73		
4.47	0.68		5.15

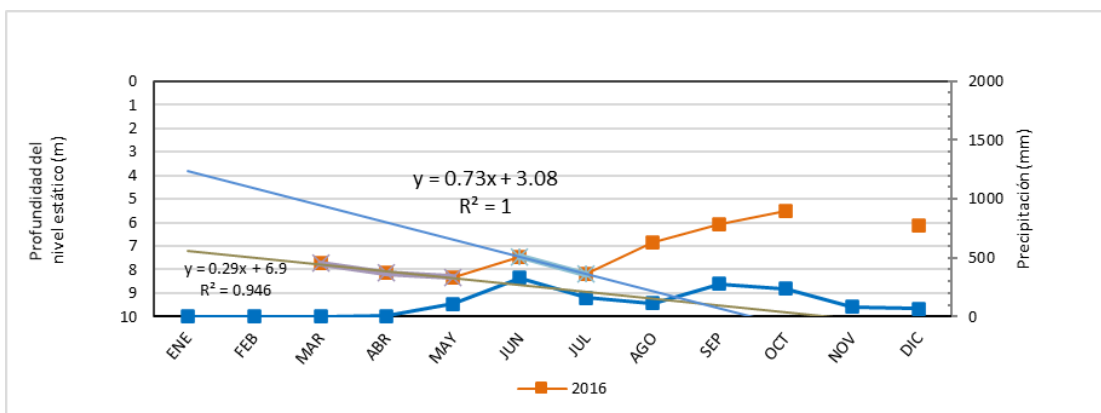
*Pozo: Hotel Nany*



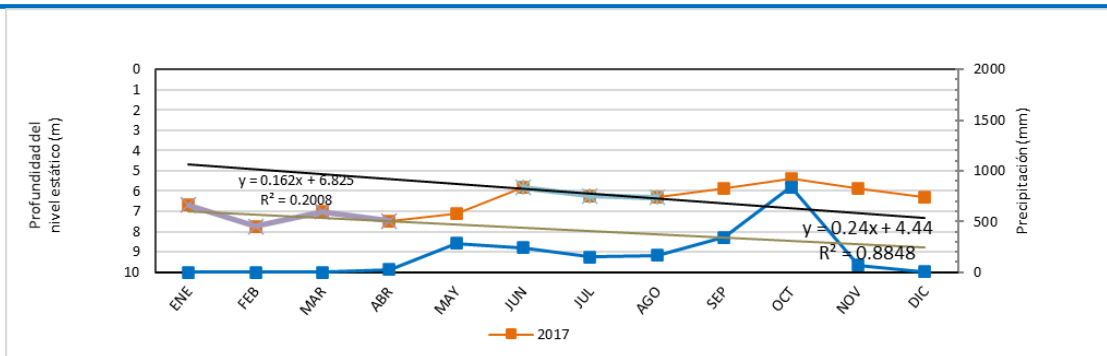
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.07	5.25		
2.69	2.65		
			5.34



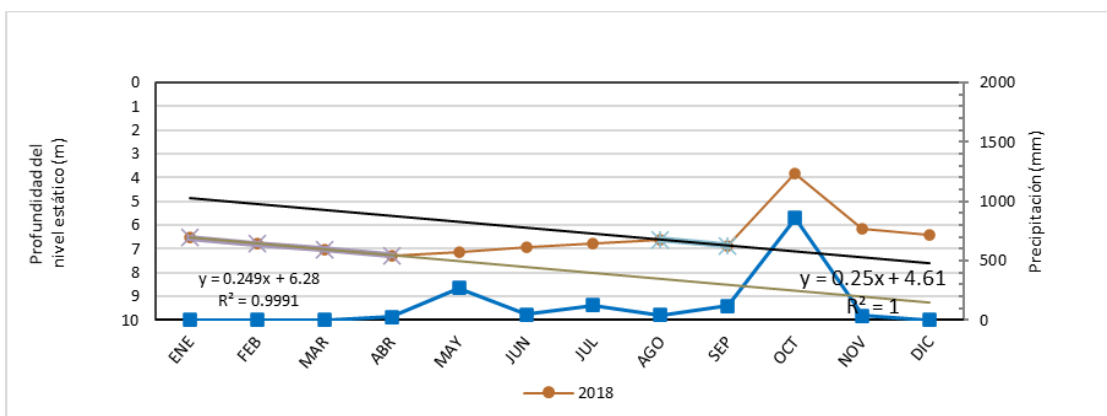
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.87			
3.11			
			3.11



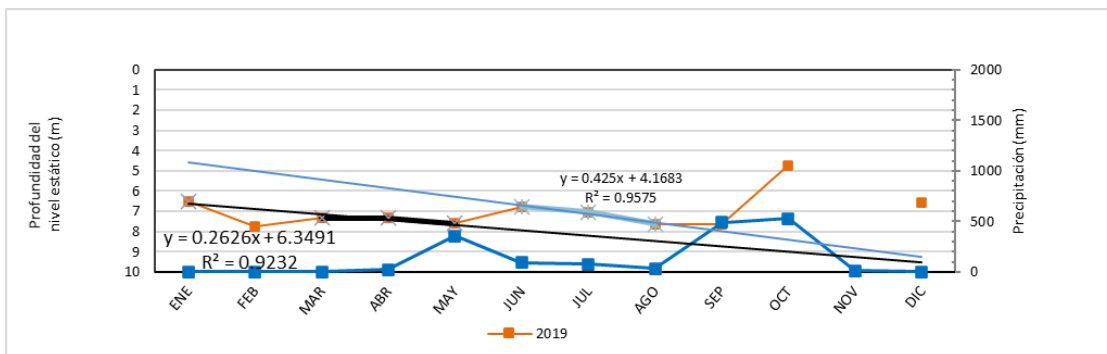
RG1	Rg2	Rg3	Total
8.64	10.38		
1.18	4.89		
			6.07



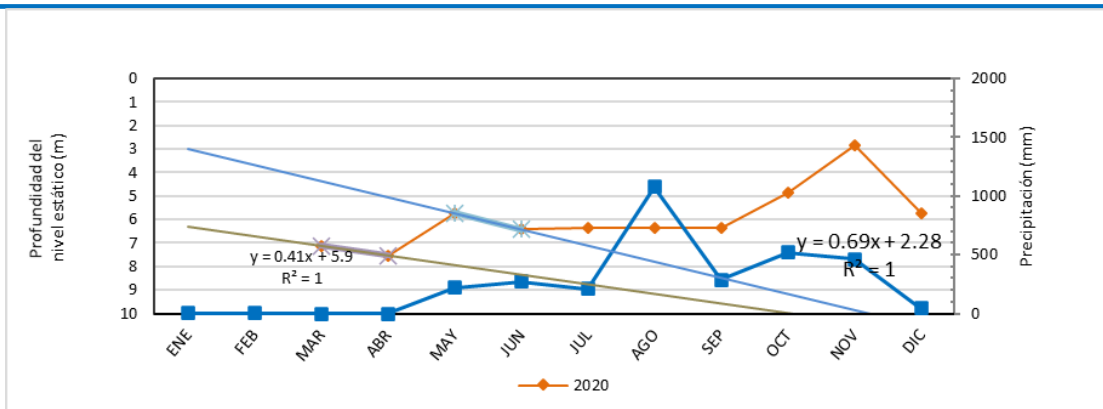
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.80	6.84		
1.97	1.48		3.45



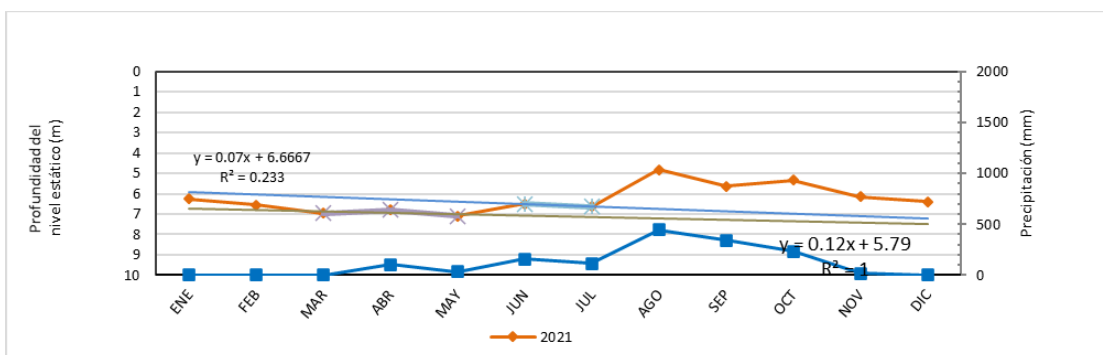
RG1	Rg2	Rg3	Total
8.27	7.11		
1.66	3.27		4.93



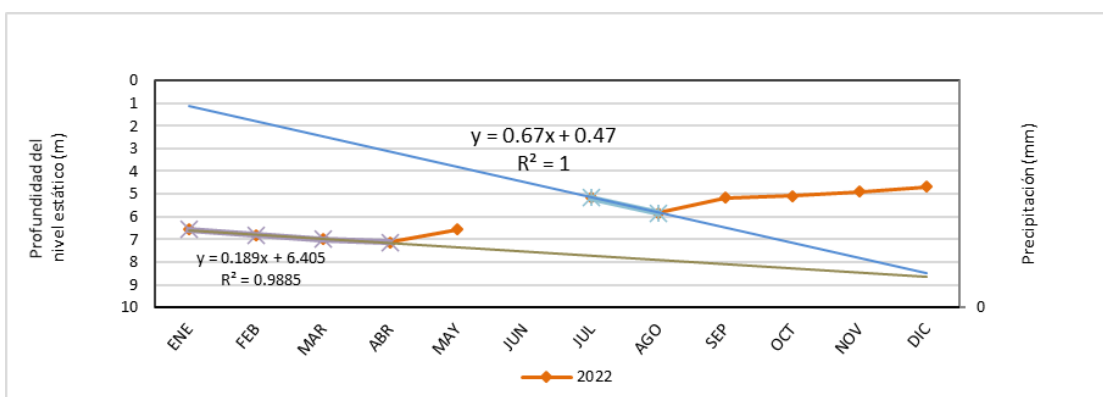
RG1	Rg2	Rg3	Total
7.92	8.42		
1.06	3.67		4.73



RG1	Rg2	Rg3	Total
7.95	9.87		
2.22	7.03		9.25

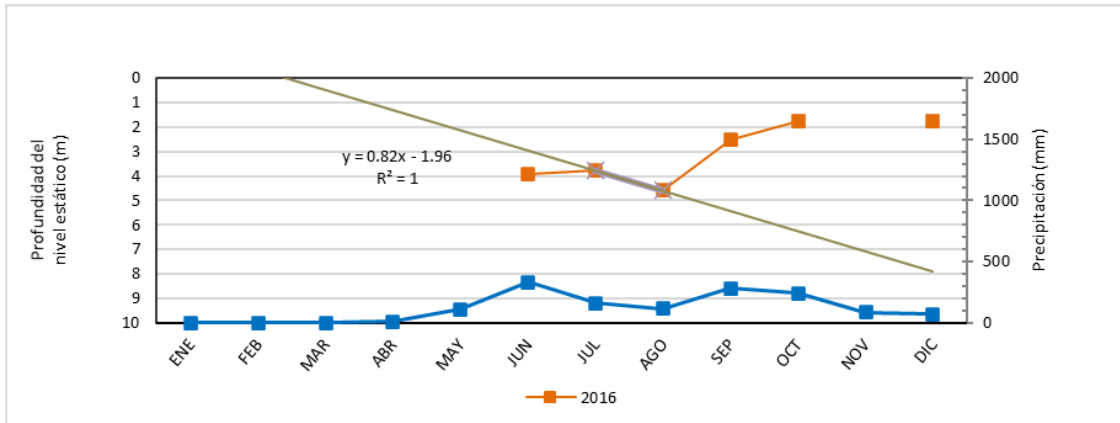


RG1	Rg2	Rg3	Total
7.16	7.23		
0.65	2.41		3.06

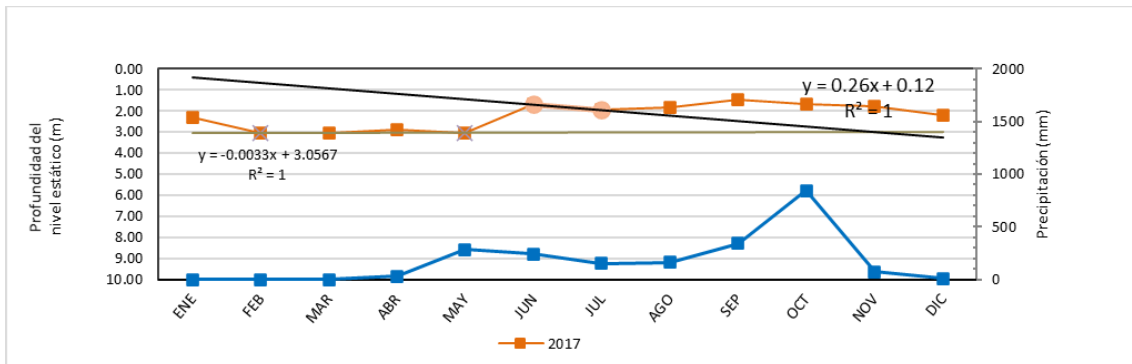


RG1	Rg2	Rg3	Total
7.92	6.50		
2.76	1.80		4.56

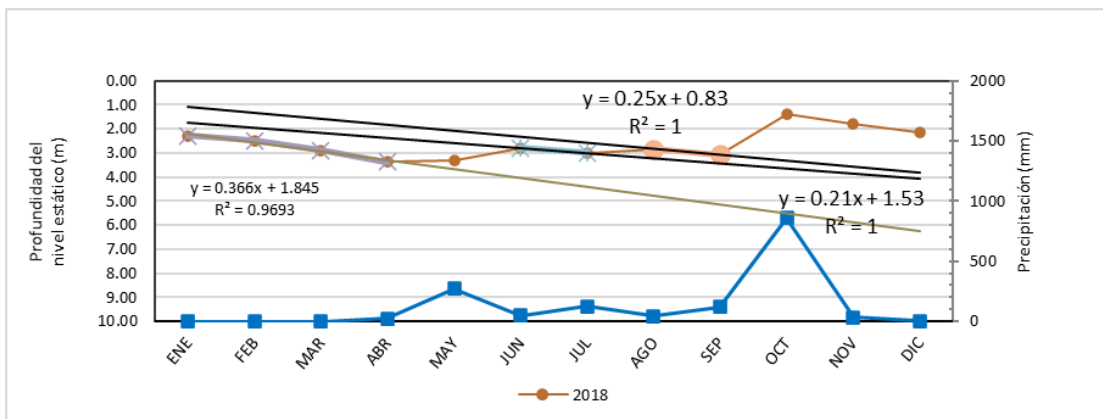
### Pozo: Quinta Esencia nuevo



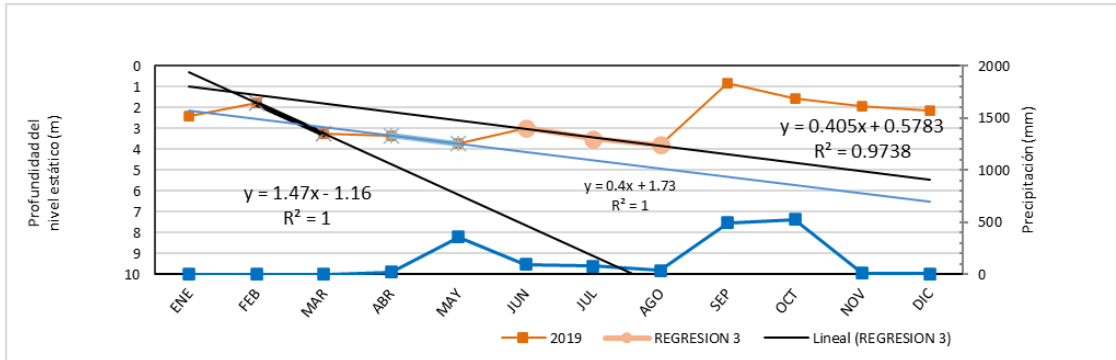
RG1	Rg2	Rg3	Total
6.24			
4.46			4.46



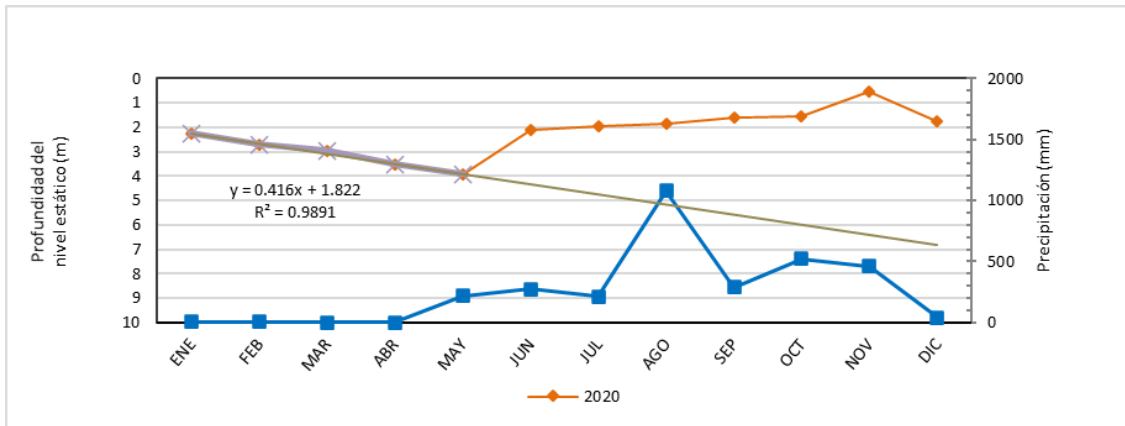
RG1	Rg2	Rg3	Total
3.08	4.04		
1.40	2.57		3.97



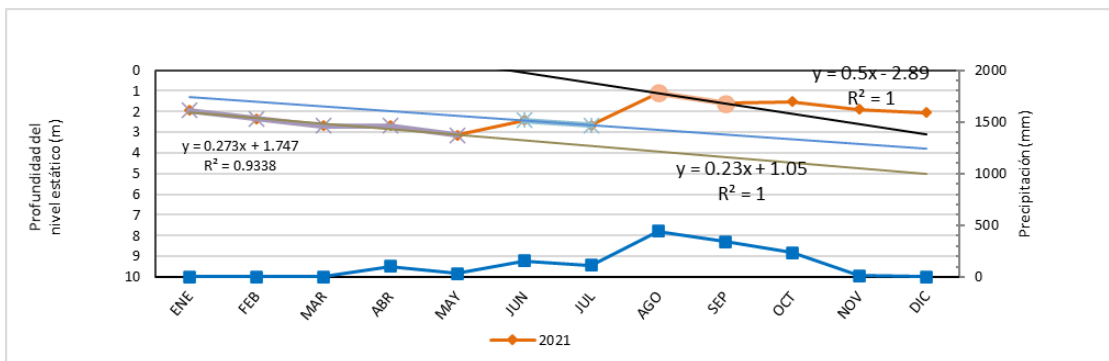
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.04	3.21	3.08	
1.25	0.38	1.67	3.30



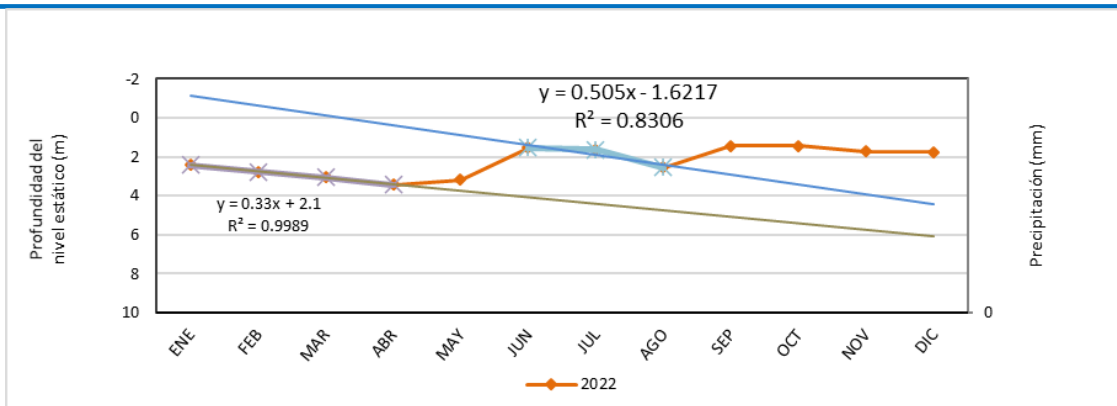
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.72	4.13	4.22	
1.39	2.58	3.40	7.37



RG1	Rg2	Rg3	Total
6.40			
5.85			5.85

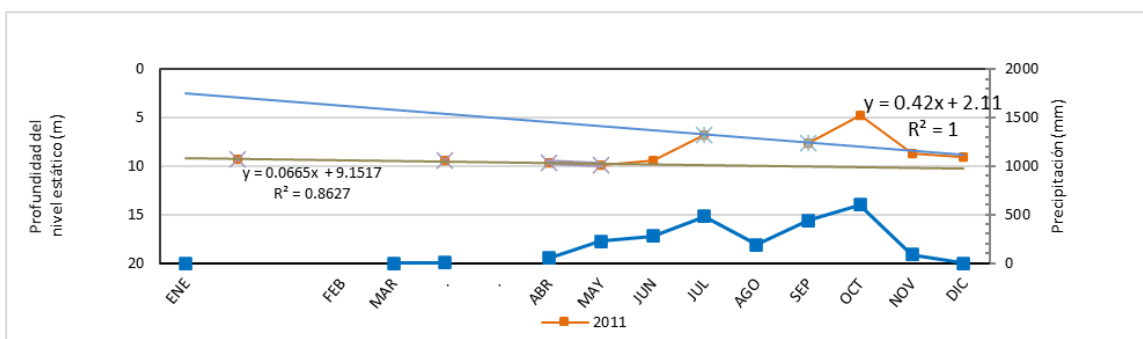


RG1	Rg2	Rg3	Total
3.39	2.89	2.11	
0.96	1.78	0.58	3.32

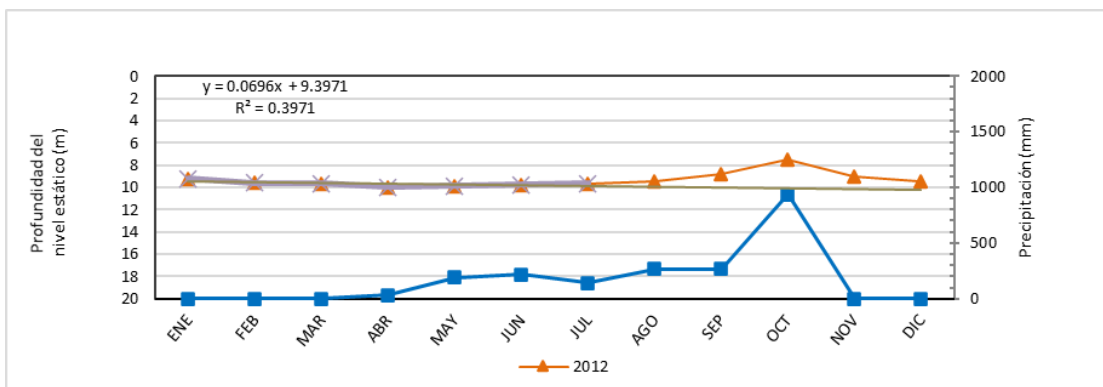


RG1	Rg2	Rg3	Total
4.08	2.92		
2.54	1.47		4.01

### Pozo: Team CRT 1

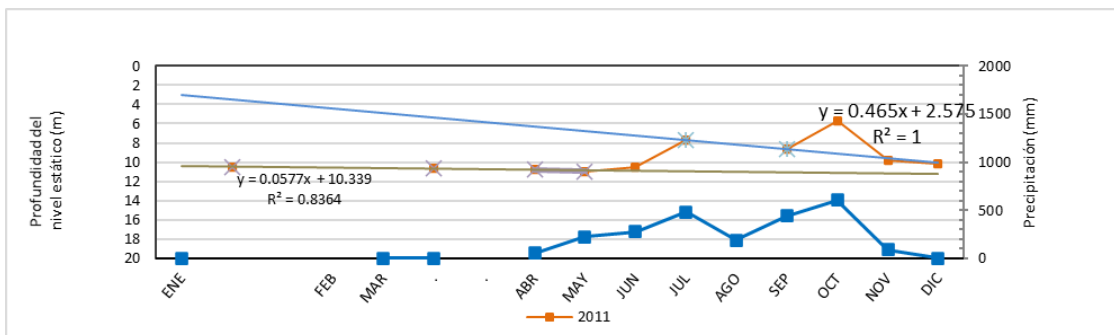


RG1	Rg2	Rg3	Total
9.88	7.99		
3.15	3.23		6.38

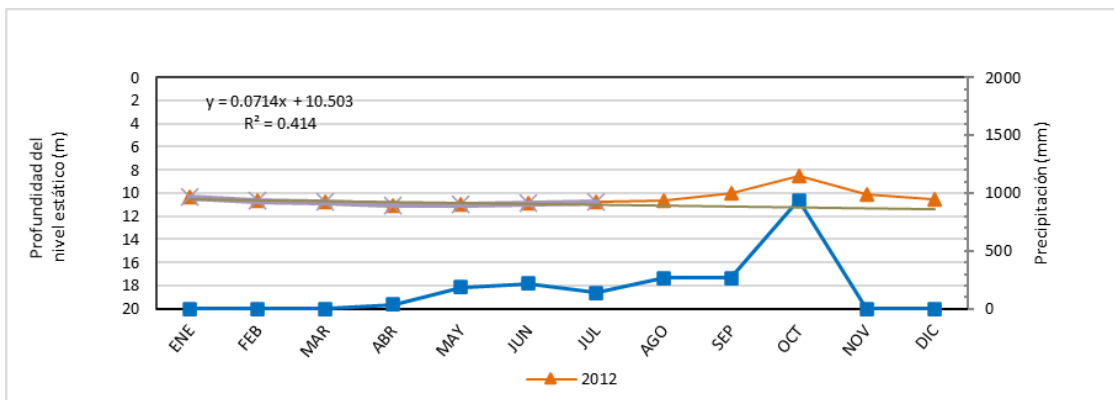


RG1	Rg2	Rg3	Total
10.09			
2.64			2.64

### Pozo: CRT 2

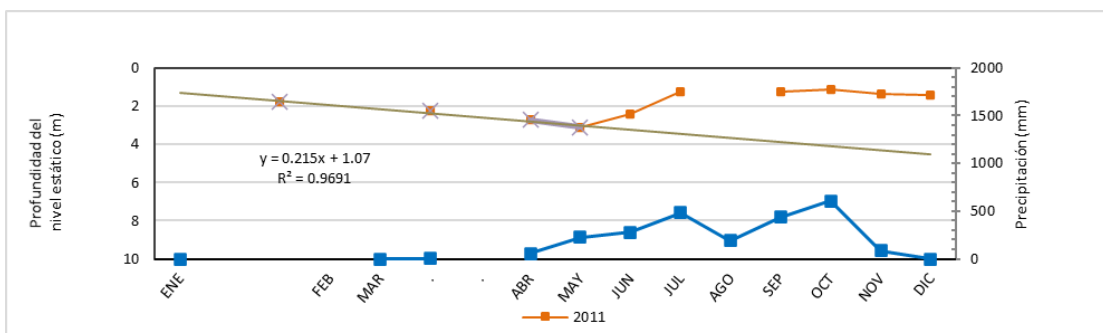


RG1	Rg2	Rg3	Total
10.97	9.09		
3.28	3.40		6.68

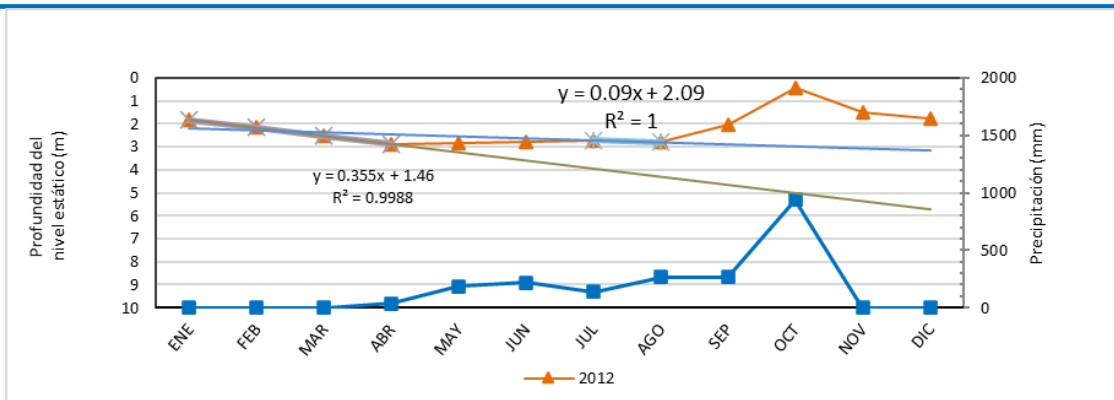


RG1	Rg2	Rg3	Total
11.22			
2.74			2.74

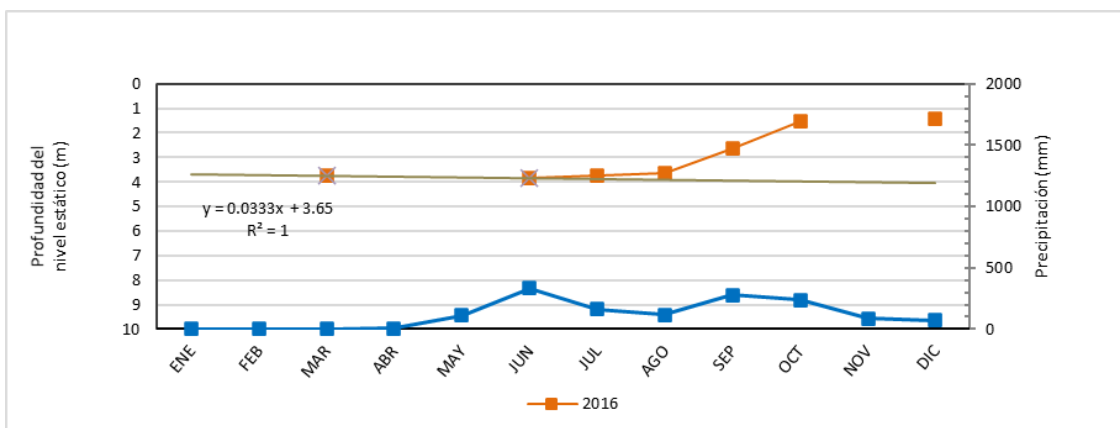
### Pozo: Tico Adventure



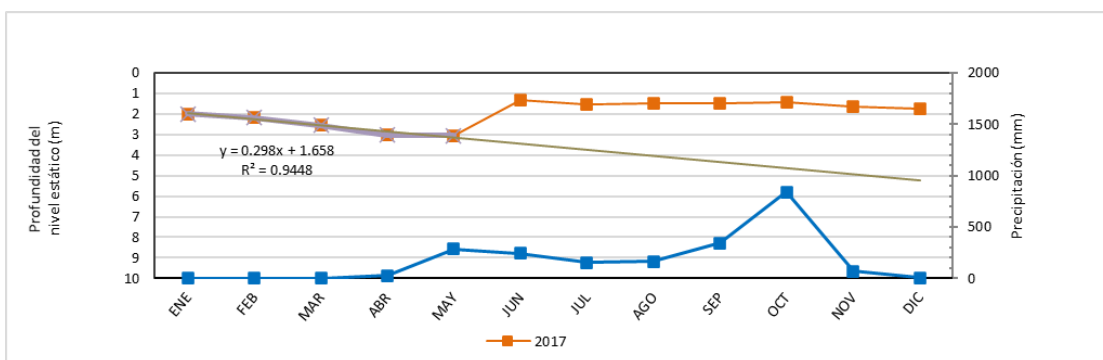
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.08			
2.97			2.97



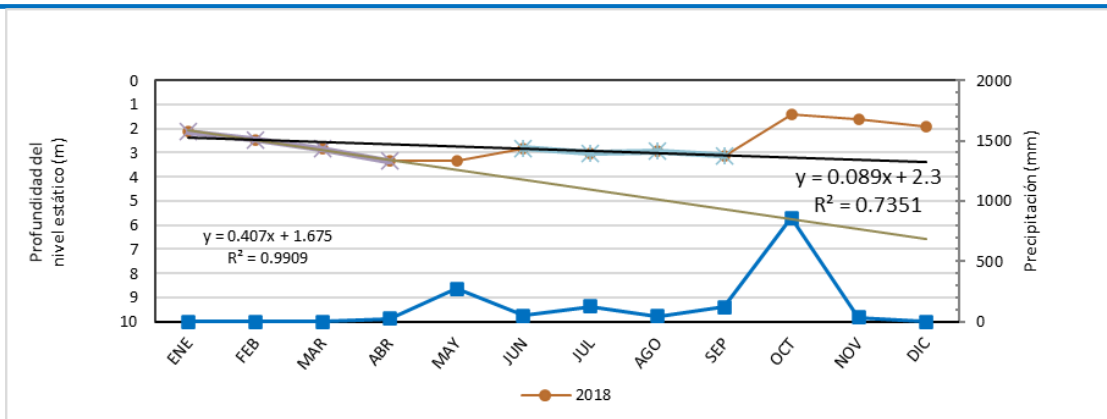
RG1	Rg2	Rg3	Total
3.95	2.99		
1.23	2.57		3.80



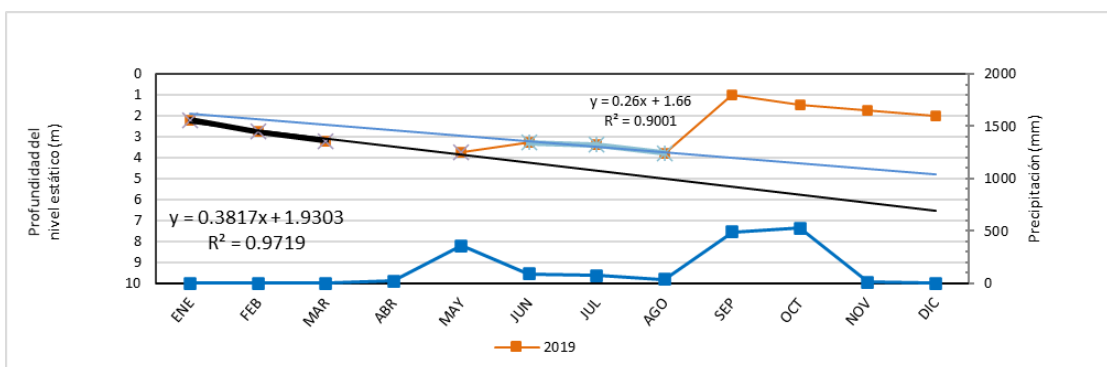
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.05			
2.64			2.64



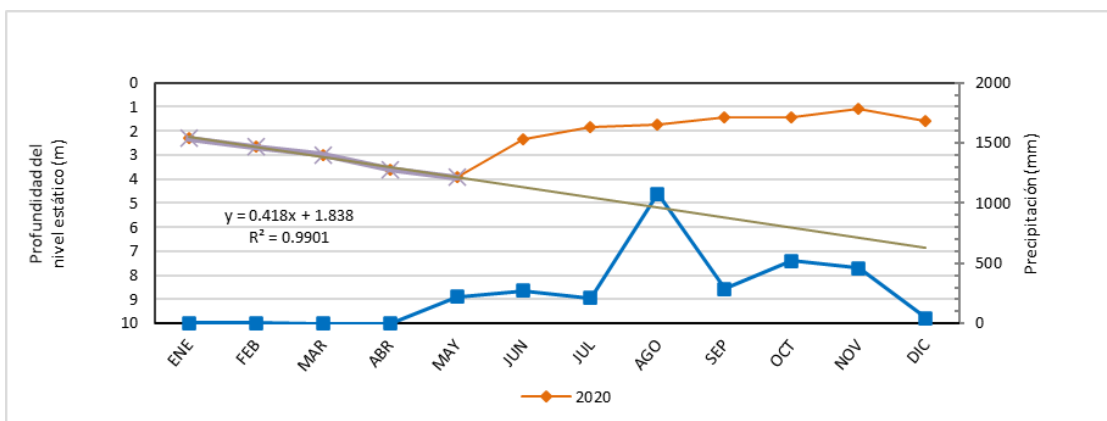
RG1	Rg2	Rg3	Total
3.45			
2.13			2.13



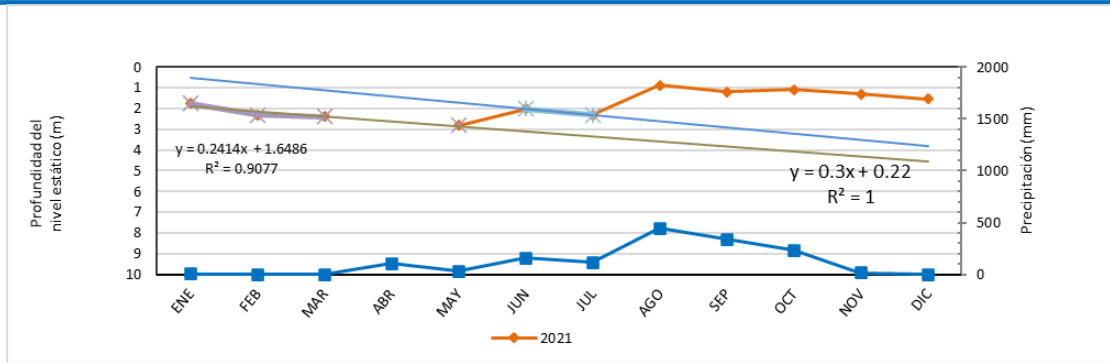
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.12	3.19		
1.32	1.77		3.09



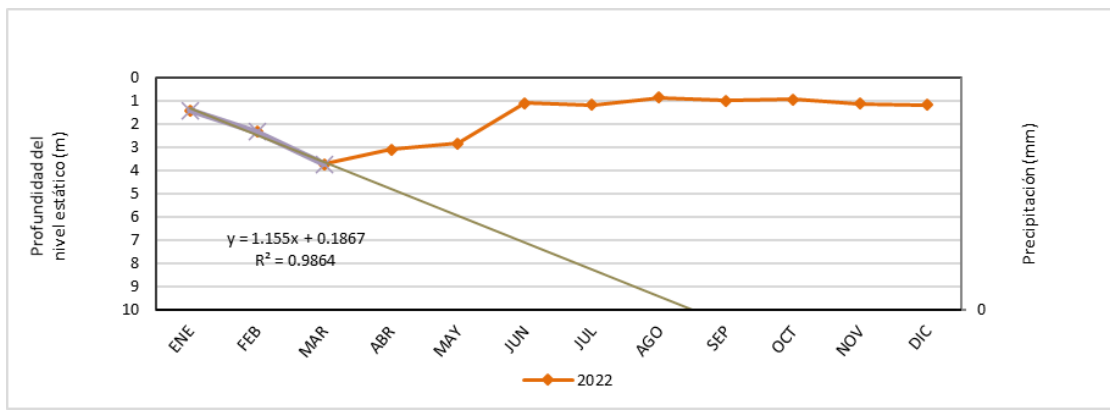
RG1	Rg2	Rg3	Total
4.22	4.00		
3.23	0.73		3.96



RG1	Rg2	Rg3	Total
6.44			
5.35			5.35



RG1	Rg2	Rg3	Total
3.10	2.62		
1.08	1.74		2.82



RG1	Rg2	Rg3	Total
7.39	2.32		
6.53	1.37		7.90