

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Determinación de los recursos hídricos disponibles en la cuenca subterránea
VC-I**

Autor: Odeisy Suárez Pecoso

Tutor: MSc. Rafael Matamoros García

Lic. Luis Beatón Rodríguez

Santa Clara

Curso 2014-2015

"Año 57 de la Revolución."

DEDICATORIA

A mi mamá, mi papá y a mi hermana que siempre han luchado por mí y junto conmigo, que me han apoyado siempre en todas mis decisiones y que siempre me han comprendido en todo momento. Gracias por estar conmigo hasta el final.

AGRADECIMIENTOS

Por ayudarme cuando más lo necesité, por los días de trabajo agotador, por mantenerse conmigo día a día para salir adelante, por batirse conmigo hasta el final y tener paciencia conmigo, quiero dar mi mayor agradecimiento a mi tutor Rafael Matamoros García, y que sepa que le estaré agradecida por siempre.

A mi mamá, mi papá, mi hermana y a mi novio.

A los trabajadores de INRH de Villa Clara que me brindaron toda la información necesaria para poder desarrollar este trabajo.

A los muchachos del aula que me ayudaron y que me apoyaron.

Y en definitivas a todos los que de una forma o de otra me ayudaron para salir adelante, y ser lo que soy hoy.

RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio de los elementos monitoreados durante el proceso de Balance de Agua y que inciden directamente en los volúmenes de los Recursos Hídricos Disponibles en el sector hidrogeológico VC-I-1a, partiendo de la información brindada por la Delegación y la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico del INRH en Villa Clara. Para ello se realizó el análisis estadístico de las variables lluvia, nivel estático y entregas a los diferentes usuarios, lo que posibilitó obtener un algoritmo de trabajo que permite realizar la determinación del Recurso Hídrico Disponible en el sector de forma operativa y lo más ajustado posible a los valores reales.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTUDIO DE ANTECEDENTES.	5
1.1 Recursos hídricos subterráneos.	5
1.1.1 Características de las oscilaciones de las aguas subterráneas.	6
1.1.2 Reservas y recursos de agua subterránea.....	8
1.1.3 Control de la extracción del agua subterránea.	9
1.1.4 El agua subterránea en Cuba.....	10
1.1.5 El agua subterránea en la provincia Villa Clara.....	11
1.2 Balance de los recursos hídricos subterráneos.	12
1.3 Procedimientos para el balance de agua.....	14
1.3.1 Experiencias del balance de agua en el mundo.	15
1.3.2 Procedimiento para el balance de agua en Cuba.	17
1.3.3 Realización del Balance de agua en Villa Clara.	19
Conclusiones parciales:	20
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LOS DATOS REFERIDOS AL BALANCE DE AGUA EN EL SECTOR HIDROGEOLÓGICO VC-I-1a.	21
2.1 Características generales del sector hidrogeológico VC-I-1a.....	21
2.2 Análisis estadístico de los datos históricos referidos al sector hidrogeológico VC-I-1a.	23
2.2.1 Análisis del comportamiento de la lluvia en el sector.	24

2.2.2	Análisis del comportamiento de las entregas.....	26
2.2.3	Análisis de del comportamiento de los niveles estáticos.	28
2.2.4	Algoritmo propuesto para la determinación del Recurso Hídrico Disponibile del sector hidrogeológico VC-I-1a.	30
	Conclusiones parciales:	31
CAPÍTULO 3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.		32
3.1	Ejemplo de cálculo de los RHD.	32
3.1.4	Determinación de los RHD en el sector.....	34
	Conclusiones parciales	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		36
	Conclusiones	36
	Recomendaciones:	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		37
ANEXOS		40

INTRODUCCIÓN

La determinación de los recursos hídricos potenciales, aprovechables y disponibles de una cuenca hidrográfica subterránea, obtenidos a partir de estudios hidrogeológicos y de la realización del Balance de agua, garantiza conocer los volúmenes de agua con los que se cuenta en un área determinada.

El agua subterránea es utilizada para el abastecimiento de agua potable, tanto en viviendas individuales, como en aglomeraciones urbanas, en proyectos agropecuarios para riego y para uso animal; igualmente, muchas industrias consumidoras de grandes cantidades de agua hacen uso de este recurso.

Uno de los aspectos que hacen particularmente útil el agua subterránea para el consumo humano es la menor contaminación a la que está sometida y la capacidad de filtración del suelo que la hace generalmente más pura que las aguas superficiales. Además que este recurso es poco afectado por períodos prolongados de sequía.

La utilización del agua subterránea se ha venido incrementando en el mundo desde tiempos atrás y cada día gana en importancia debido al agotamiento o no existencia de fuentes superficiales. Se estima que más de la mitad de la población mundial depende del agua subterránea como fuente de agua potable.

Grandes ciudades como Bangkok, Mombasa, Buenos Aires, Miami y Calcuta usan el agua subterránea para el abastecimiento de su población. La explotación acelerada del recurso agua subterránea ha causado muchos problemas en muchos lugares de la tierra. En Ciudad de México, con una población de más de 20 millones de personas, el agua subterránea es casi la única fuente de agua potable. La explotación del acuífero ha producido una baja de los niveles piezométrico de casi un metro por año, lo que ha traído graves problemas de subsidencia. (Otálvaro 1999)

El agua subterránea tiene importancia también como componente esencial del ciclo hidrológico y como reserva fundamental. Así por ejemplo, a escala de todo el globo terrestre las reservas en agua están distribuidas aproximadamente de la siguiente forma: de dichas aguas el 97.2% es agua salada y sólo el 2.8% es agua dulce que se reparte a su vez en el 2.2% en agua superficial y el 0.6% en agua subterránea. Del

agua superficial el 2.15% está en los glaciares, el 0.01% en lagos y el 0.0001% en ríos y en corrientes. Del 0.6% correspondiente a agua subterránea el 0.3% resulta económicamente explotable y el resto se encuentra a profundidades mayores de 800 m, lo que hace poco viable su extracción para fines prácticos.

Centrando la investigación solamente en el campo de las aguas subterráneas es necesario tener un estricto control del comportamiento de las mismas, atendiendo a las demandas existentes debido a que la recarga de estas fuentes está dada mayormente por la precipitaciones, y como se conoce en Cuba país existe un período húmedo o lluvioso (Mayo/Octubre) el cual es más favorable, pero también existe un período seco o menos lluvioso (Noviembre/Abril) en el cual es necesario prestar una mayor atención a las demandas puesto que no se puede sobre explotar la fuente.

Partiendo de que el balance de agua es un proceso de demandas, análisis de las disponibilidades y estado técnico de las fuentes suministradoras y en consecuencia la discusión, fundamentación y asignación de volúmenes de agua para satisfacer las necesidades planteadas de todas las ramas de la economía y de la sociedad, sin violar las condiciones y restricciones de explotación de las fuentes. (Según el lineamiento 300 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, el Balance de Agua el cual se mide la eficiencia en el consumo estatal y privado, respecto a la disponibilidad del recurso agua), teniendo en cuenta el siguiente orden de prioridades:

- Abasto a la población
- Abasto a la ganadería
- Riego y producción de alimentos y uso industrial
- Otros

La presente investigación se enmarca dentro del **campo** de la hidrogeología, tomando como **objeto de estudio** el sector hidrogeológico VC-I-1a.

Teniendo en cuenta que la delegación del INRH de Villa Clara utiliza en el cálculo del Balance de Agua de la Cuenca Subterránea VC-I los datos de los recursos potencialmente explotables (RPE), tomados a partir de las mediciones que aparecen registradas en el Análisis integral de la cuenca del año 2002, lo que limita la veracidad los datos de los recursos hídricos disponibles (RHD) en la actualidad, se tiene a partir

de lo expresado el siguiente **problema de investigación**: ¿De qué manera la conformación de una herramienta de trabajo operativa para la evaluación de RHD del sector hidrogeológico VC-I-1a, aplicando un Balance de Agua, sustentado en análisis estadísticos, de los datos registrados en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, facilita la obtención de un conocimiento actualizado de la disponibilidad de los recursos hídricos en el sector?

Como solución adelantada a este problema se tiene la siguiente **hipótesis**: Si se emplean métodos estadísticos a partir de los datos históricos almacenados de los RPE en el sector hidrogeológico VC-I-1a se podrá determinar con un alto valor de confiabilidad los valores de los RHD obtenidos al realizar el balance de agua en dicha cuenca subterránea.

El **objetivo general** en el que se basará esta investigación será elaborar una herramienta de trabajo que permita determinar de forma operativa los RHD en el sector hidrogeológico VC-I-1a como resultado de la realización del Balance de agua lo más ajustado posible a los valores reales, tomando como referencia el análisis estadístico de los RPE archivados por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, a partir de los **objetivos específicos** siguientes:

- Recopilación de los datos de la lluvia, entregas y nivel estático el sector hidrogeológico VC-I-1a en los años 2001, 2012-2014.
- Análisis estadístico de los datos referidos a la lluvia, entregas y nivel estático el sector hidrogeológico VC-I-1a en los años 2001, 2012-2014.

El estudio de este trabajo estará enmarcando de la forma siguiente:

- Se tomará como objeto de estudio el sector hidrogeológico VC-I-1a.
- Se emplearán los datos estadísticos pertenecientes a los años 2001, 2012 - 2014.

La presente investigación estará estructurada de la siguiente forma:

Capítulo I: Revisión bibliográfica y estudio de antecedentes.

Este capítulo estará referido al estudio de la bibliografía y revisión de los antecedentes tanto internacionales, nacionales y locales sobre el Balance de Agua en cuencas subterráneas.

Capítulo II: Estudio y análisis de los datos y mediciones referidos al sector hidrogeológico VC-I-1a.

Capítulo III: Resultados de la investigación.

Para el logro de esta investigación se trazaron las siguientes tareas:

- 1- Búsqueda y recopilación de los datos referidos al sector hidrogeológico VC-I-1a.
- 2- Recopilación de la bibliografía para la elaboración del capítulo 1.
- 3- Análisis de los datos referidos a las extracciones y estado de la cuenca en los períodos analizados.
- 4- Análisis de las precipitaciones y las demandas de los usuarios dentro del período analizado.
- 5- Estudio de las normativa o metodologías existentes en el INRH para el Balance de Agua en cuencas subterráneas.
- 6- Analizar la factibilidad de utilizar las normas del INRH teniendo en cuenta la situación actual de la cuenca.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTUDIO DE ANTECEDENTES.

En el presente capítulo se abordan elementos generales sobre los recursos hídricos subterráneos, sus reservas, balance de agua y su situación en Cuba y el mundo.

1.1 Recursos hídricos subterráneos.

El agua subterránea ocupa, en mayor o menor medida, los huecos existentes en el suelo y las rocas, ya sean poros, fisuras o conductos de mayor tamaño hasta una cierta profundidad los huecos del material están normalmente ocupados por agua y aire: es lo que se denomina zona no saturada. Esta zona tiene un sentido fundamentalmente vertical.

A partir de una cierta profundidad que fluctúa en función del tiempo todos los huecos interconectados del suelo o roca están llenos de agua formando el medio o zona saturada. La superficie superior de esta zona se conoce como nivel freático (ver figura 1). La zona saturada se extiende en profundidad, hasta donde el material geológico colector ya no presenta huecos interconectados capaces de posibilitar la continuidad del flujo del agua.

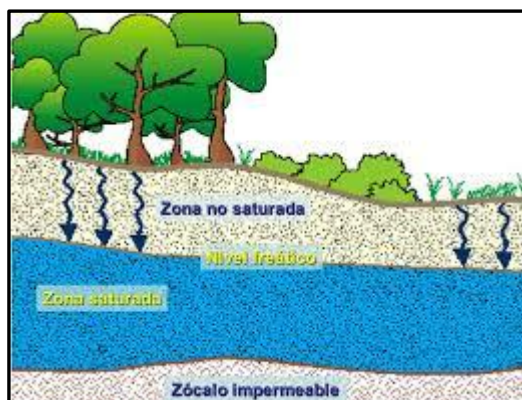


Figura 1. Nivel freático.

A nivel global, el agua subterránea representa cerca de un 20 % de las aguas dulces, que a su vez constituyen el 3 % del total; el 80 % restante está formado por las aguas superficiales; un 79 % es hielo y el 1% representa el agua presente en ríos, lagos y arroyos.

El movimiento del agua subterránea depende del tipo de rocas o litología presentes en cada lugar. Las capas permeables saturadas capaces de aportar un suministro útil de agua son conocidas como acuíferos.

1.1.1 Características de las oscilaciones de las aguas subterráneas.

Las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas, son el resultado de la acción simultánea de toda una serie de factores, externos e internos, que, asociados a los parámetros hidrogeológicos de los horizontes acuíferos, provocan cambios, en espacio y en el tiempo.

Por tanto las fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas, reflejan fielmente las variaciones del volumen almacenado que se encuentra en el acuífero y también el balance hidráulico interno del mismo. Los valores máximo y mínimo de estos niveles difieren cada año, de acuerdo a su comportamiento hidrológico, lo cual implica variaciones hiperanuales de las reservas, registrándose valores máximos y mínimos históricos (nivel de agua máximo y mínimo) lo que define las reservas renovables del acuífero.

En nuestro país, dichas fluctuaciones presentan características muy bien definidas, por existir dos períodos hidrológicos bien conocidos y perfectamente determinados. El período húmedo o lluvioso (Mayo/Octubre) donde se precipita aproximadamente el 80% de la lluvia anual, siendo éste fundamentalmente el responsable de la alimentación o recarga del horizonte acuífero; y el período seco o poco lluvioso (Nov. /Abril), el cual tiene poca influencia en la recarga de las aguas subterráneas.

En una cuenca subterránea o en un acuífero existen tres zonas principales: Zona de alimentación o recarga, zona de almacenamiento y zona de descarga. El comportamiento del régimen de las aguas subterráneas en cada una de estas zonas presenta características específicas.

Zona de alimentación o recarga:

Esta zona se ubica generalmente en la parte alta de la cuenca próxima a la divisoria de las aguas subterráneas. Las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en

esta zona resultan bruscas, esto se debe principalmente a que el gradiente hidráulico es alto y el valor del coeficiente de almacenamiento es pequeño, generalmente en esta se registran las mayores profundidades de yacencia del nivel de las aguas subterráneas y las mayores amplitudes que se registran entre los niveles máximos y mínimos. En esta zona generalmente no se proyecta la explotación de las aguas subterráneas

Zona de almacenamiento:

Es la zona central del acuífero, en ella las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas son más estables debido a que es la de mayores valores del coeficiente de almacenamiento y donde el gradiente hidráulico es más suave, también se define perfectamente la pendiente de la curva de descenso y ascenso del nivel de las aguas y se calcula con relativa facilidad el valor de la amplitud de las fluctuaciones del nivel. En esta área es donde se realiza la mayor explotación del acuífero y donde se ubica la mayor cantidad de pozos en explotación.

Zona de descarga:

Esta zona se encuentra ubicada en la parte más baja del acuífero, en el caso de los acuíferos costeros de la provincia de Villa Clara es la zona que ocupa la llanura marina y puede estar más o menos cerca de la línea costera en dependencia de las particularidades hidrogeológicas de cada cuenca.

Las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en esta zona son pequeñas por lo general inferior a 1.0 m y la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas está en un rango inferior a los 3.0 m de la superficie del terreno. En los acuíferos costeros generalmente la explotación de las aguas subterráneas es muy limitada debido a los riesgos de intrusión marina.

En su estado natural y de forma general, el régimen de funcionamiento de un acuífero en Cuba cumple tres fases.

1. Recarga a partir de las aguas provenientes de las precipitaciones atmosféricas fundamentalmente y también en ocasiones, ríos, lagos, embalses, etc.
2. Almacena grandes volúmenes de agua.

3. Descarga anualmente parte del volumen de agua almacenada a través de sus salidas naturales (manantiales, mar, etc.) y también por la influencia de la explotación de las aguas subterráneas.

El factor determinante en las fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas en nuestro país, y por ende en su régimen, es el climático, dado por la alimentación que recibe el acuífero anualmente a través de la infiltración del agua que proviene de las precipitaciones atmosféricas. Otro factor externo, la extracción, sumado al drenaje natural, puede afectar sensiblemente estas oscilaciones y también la calidad del agua, máximo aún en los acuíferos costeros con riesgos de intusión salina.

1.1.2 Reservas y recursos de agua subterránea

Uno de los problemas que más controversia origina dentro de la Hidrogeología contemporánea, es la evaluación de los recursos disponibles para la explotación. En Cuba la influencia que existen entre las dos escuelas hidrogeológicas la europea y la norteamericana, provoca entre los especialistas de la materia, incertidumbre para entender estos conceptos.

La primera usa los conceptos de reserva y recursos de las aguas subterráneas y la segunda el concepto del caudal seguro, para definir la disponibilidad de agua subterránea; sin embargo, tanto en uno como en el otro caso, surgen imprecisiones causadas por la variadas definiciones que se han atribuidos a dichos conceptos. No solamente eso, sino que en muchas ocasiones los hidrogeólogos que siguen la escuela europea emplean indistintamente los conceptos de reservas y de recursos, construyendo adicionalmente a la confusión.

A pesar de estas dificultades para realizar una explotación racional del agua subterránea resulta imprescindible poder evaluar, aunque sea de modo aproximado, la cantidad de agua disponible a ser explotada en un acuífero

Los **recursos naturales** corresponden a la alimentación del acuífero en condiciones naturales a causa de la precipitación atmosférica, a los aportes de los acuíferos y a la afluencia natural desde los ríos y lagos. Los recursos naturales encuentran su expresión en el caudal del escurrimiento subterráneo. (Sánchez 2009)

Las **reservas artificiales** se definen como el volumen formado en el acuífero como consecuencia de la irrigación, estanques de agua y anegación artificial de la capa y los recursos artificiales como la alimentación causada por la filtración desde canales, estanques, áreas de irrigación o bien a consecuencias dirigidas a reforzar la alimentación. (Sánchez 2009)

Los **recursos atraídos** son aquellos que se añaden a consecuencia de la explotación del acuífero como el aumento del aporte de los ríos por efecto de la extensión del cono de abatimiento de las obras de captación y el aumento del aporte. (Sánchez 2009)

Los **recursos disponibles** dependen fundamentalmente de la alimentación neta del acuífero y representan el volumen total de agua, expulsado en forma de caudal que podrían extraerse permanentemente a largo plazo del acuífero sin que se experimente una reducción en la reserva permanente. (Sánchez 2009)

1.1.3 Control de la extracción del agua subterránea.

El control de la explotación en un acuífero debe estar en función de la preservación de los recursos subterráneos, como parte del medio ambiente en general y solo mediante un adecuado control de volúmenes de agua extraídos de una cuenca, se podrá realizar una correcta revaluación de sus recursos explotables, para pasarlos a una mayor categoría. Para este control se debe organizar una estructura correctamente planificada.

La unidad estructural sobre la cual se debe realizar el control de la explotación deberá ser la cuenca subterránea con sus divisiones internas en tramos y sectores hidrogeológicos.

La cuenca subterránea se delimita a partir del parte aguas subterráneo, el cual se obtiene a partir del mapa de las hidrohisopsas de la región y su correspondiente análisis del mapa geológico del territorio.

Tramo Hidrogeológico: Comprende un territorio dentro de la cuenca ajustado a una formación geológica específica y con análogas características hidrodinámicas e hidroquímicas. (Domínguez 2012)

Sector Hidrogeológico: Es la unidad menor en que se divide un tramo cuya finalidad es realizar su valoración más precisa de los recursos, poder realizar un control sistemático detallado sobre los elementos que intervienen en el régimen de las aguas subterráneas, como son control sobre los niveles, las precipitaciones atmosféricas, la explotación y la calidad, todo lo cual tiene variaciones de una localidad a otra dentro de un mismo tramo. (Domínguez 2012)

El control de la explotación se puede realizar con diferentes métodos los cuales varían desde la instalación de metro contador hasta el consumo de agua por las normas, lo cual estará en dependencia de la importancia económica y social de cada estación de bombeo, de su construcción y su instalación.

1.1.4 El agua subterránea en Cuba.

Cuba es una isla de pequeña extensión, rodeada de agua y con pocos ríos caudalosos, con las precipitaciones como única fuente de alimentación al manto, y por su característica de ser un país con amplio empleo de la agricultura hacen del agua subterránea un elemento de vital importancia.

El agua subterránea en Cuba se caracteriza por manifestarse en volúmenes considerables; por la facilidad de captación de la misma debido a su poca profundidad y por la calidad, lo que la hace aptas para múltiples usos.

El volumen medio explotable o lo que es lo mismo el recurso medio o escurrimiento medio anual subterráneo es aproximadamente 4,5 km³ /año lo que representa un 30 % de la disponibilidad hídrica total del país, distribuido aproximadamente en un 67 % del territorio y en esta área predomina una secuencia carbonatada de calizas y dolomitas las cuales están afectadas por los procesos cárnicos.

En nuestro país es habitual la búsqueda y uso del agua subterránea teniendo en cuenta que existen 167 acuíferos importantes, con grandes recursos y un área acuífera efectiva de aproximadamente 37 000 km² que equivale al 32 % del territorio nacional, casi todos ellos son cárnicos y en su mayoría abiertos al mar, estimándose que el volumen aprovechable subterráneo es más del 50 % del volumen total, lo que reafirma la importancia del agua subterránea.

La distribución de estos recursos no es igual, equitativa, en todo el territorio nacional. Así, la zona occidental es la que presenta un mayor peso o volumen de aguas subterráneas (60% de los recursos disponibles evaluados). La región central, desde Villa Clara hasta Camagüey, presenta el 34% de los recursos subterráneos disponibles, quedando para la región oriental el 6%. Hay provincias como Matanzas y Ciego de Ávila así como gran parte de Artemisa, Mayabeque y La Habana que prácticamente dependen del agua subterránea de forma exclusiva.

El costo relativamente bajo y la buena calidad natural del agua subterránea son factores más que suficientes que justifican la preferencia que se le da en el suministro de agua potable.

La recarga o alimentación de los acuíferos se produce en el período lluvioso. Se infiltra como promedio entre el 20 y el 40% del total de lluvia caída, aunque hay zonas cársicas con valores superiores.

El fenómeno conocido como intrusión salina o marina, ha sido y es uno de los principales problemas hidrogeológicos en Cuba debido a que la mayoría de los acuíferos cubanos (75 %) son cuencas cársicas costeras con relación hidráulica con el mar.

Estas áreas están distribuidas en prácticamente la totalidad de la Isla, pero con el potencial hídrico mayor hacia occidente y centro del territorio. En ellas se han extraído históricamente los recursos aprovechables a tal punto que, la intensidad de esta explotación, ha provocado un avance paulatino de las aguas saladas hacia el interior de estos acuíferos; este proceso de la intrusión es irreversible, debido a que los perjuicios que esto ocasiona significan años para sólo disminuir los efectos negativos mencionados anteriormente.

1.1.5 El agua subterránea en la provincia Villa Clara.

La provincia de Villa Clara cuenta con 14 cuencas subterráneas distribuidas como se observa en la figura 2, las mismas poseen diferencias en cuanto a su área, calidad del agua y volumen de los recursos potencialmente explotables.

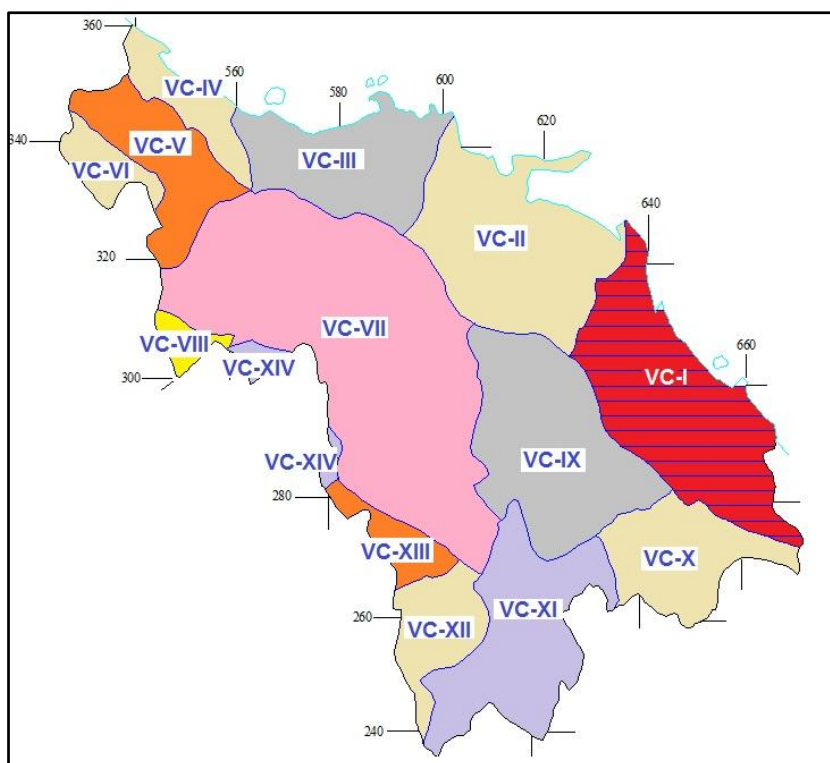


Figura 2. Distribución de las cuencas subterráneas en Villa Clara.

La división de estas cuencas en sectores hidrogeológicos posee gran variabilidad pasando desde un solo sector en las cuencas VC-XI y VC-XII hasta 11 sectores en la VC-III y la VC-VII.

En total las cuencas subterráneas de la provincia poseen como promedio anual un volumen potencialmente explotable de 195 hm^3 , que varía en función de varios factores, siendo la lluvia el principal elemento.

1.2 Balance de los recursos hídricos subterráneos.

Aunque las primeras referencias de los estudios del agua subterránea se remiten a la antigüedad, donde estudiosos de las primeras grandes civilizaciones de la humanidad comenzaron a teorizar y estudiar este recurso, no fue hasta en el siglo XIX cuando la hidrogeológica se comenzó a desarrollar como una ciencia cuantitativa, el ingeniero civil francés Henry Darcy fue la primera persona en determinar la ley matemática que regía el flujo del agua subterránea, la cual es conocida en la actualidad como la Ley de Darcy, esta fue publicada en el año 1856 como anexo al reporte emitido sobre los

nuevos suministros de agua de la ciudad de Dijón, para la determinación de la misma el ingeniero se basó en los experimentos realizados sobre el flujo del agua a través de filtros de arena realizados en el año 1856.

Luego, A. Dupuit utilizó la Ley de Darcy para derivar la ecuación del flujo del agua para su utilización en pozos. En 1870, el alemán Adolph Thiem, modificó la fórmula de Dupuit para poder calcular las propiedades hidráulicas de los acuíferos extrayendo agua de un pozo y observando la disminución del agua contenida en otros pozos cercanos.

A finales del siglo XIX se observaron otros avances en el área de la comprensión de la relación entre el agua subterránea y las formaciones geológicas, entre estos avances podemos destacar los estudios del profesor de la Universidad de Wisconsin T. Chamberlin, el cual publicó en el año 1985 el considerado primer reporte científico hidrogeológico de Norteamérica, en el mismo se exponían algunas bases teóricas necesarias para los estudios científicos del agua subterránea.

En el año 1899 otro profesor de la Universidad de Wisconsin, Franklin King, expuso nuevos conceptos como la influencia de la gravedad en el movimiento del agua subterránea. En los inicios del siglo XX otros avances importantes se realizaron en la comprensión de las bases matemáticas que describían el movimiento del agua bajo la tierra, los artículos publicados por Charles Slichteren en 1902 y 1905, esclarecían aspectos importantes sobre el movimiento del agua subterránea y aquellas variables que se observaban en el proceso. (Sánchez 2009)

En 1935, C. Theis publicó una ecuación que describía el comportamiento del agua contenida en los acuíferos confinados, este artículo sentó las bases para otros estudios relacionados con las condiciones de las cuencas subterráneas sometidas a extracción mediante pozos. (Sánchez 2009)

En 1940, M. King utilizó como base teórica para sus estudios la Ley de Darcy e introdujo la fuerza potencial, la cual combinaba la presión y la fuerza gravitacional. A través de este trabajo se demostró que la Ley de Darcy para el flujo del agua subterránea era análoga a la ley de Ohm para el flujo eléctrico. También en 1940, C. Jacob publicó un método gráfico para la interpretación de los datos obtenidos a través

de las pruebas de bombeo realizado a acuíferos confinados, basado en la ecuación propuesta por Theis. (Sánchez 2009)

En 1955 M. Hantush y C. Jacob resolvieron el problema de cómo cuantificar el flujo de agua a través de pozos en acuíferos libres o semiconfinados. Años más tarde Hantush publicó otros artículos que describían el flujo de los acuíferos libres. Los fundamentos básicos para la descripción matemática del transporte masivo de agua subterránea fueron postulados por De Josselin De Jong tres años más tarde, en estos se introdujeron los conceptos de dispersión transversal y difusión. (Sánchez 2009)

Todos los estudios antes mencionados fijaron las bases y fundamentos necesarios para el conocimiento cuantitativo del agua subterránea libre o confinada y provocó el surgimiento posterior de varios métodos para la determinación del recurso disponible.

1.3 Procedimientos para el balance de agua.

Las técnicas de balance de agua son un medio para solucionar importantes problemas hidrológicos teóricos y prácticos. A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre (ver figura 3).

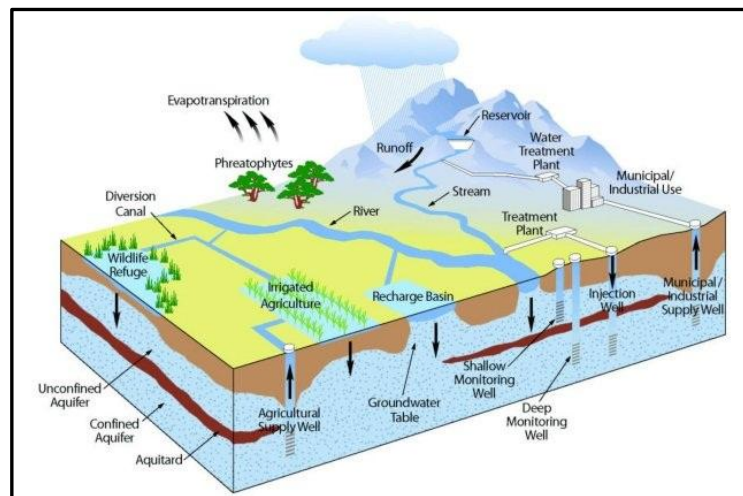


Figura 3. Ciclo del balance de agua.

El conocimiento de la estructura del balance de agua es fundamental para conseguir un uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo, así como

el control y distribución de los mismos. Con los datos del balance de agua es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo, y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural.

1.3.1 Experiencias del balance de agua en el mundo.

El empleo de métodos y técnicas para el balance de agua han sido y son empleadas para lograr una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones en varios países del mundo, llegando a jugar un papel fundamental en el estudio de las reservas de aguas subterráneas en momentos donde los efectos del cambio climático hacen retroceder los volúmenes de agua potencialmente explotables a nivel mundial.

Como ejemplo de experiencias de la realización del balance de agua en otros países tenemos:

1- Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Cumuripa, Estado de Sonora (México):

La Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales” establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa).

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. El balance de aguas subterráneas se definió para una superficie de 462 km², que corresponde a la zona donde se localizan gran parte de los aprovechamientos de agua subterránea.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\text{Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento} \quad (1)$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento del acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento} \quad (2)$$

Para este caso particular, dadas las pocas variaciones en niveles estáticos con respecto al tiempo, fue considerado un cambio de almacenamiento nulo, por lo cual se optó por calcular la recarga natural considerándola como incógnita de la ecuación de balance.

De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente:

$$Eh + Rv + Ri - B - Sh - Dn + ETR = \pm \Delta V(S) \quad (3)$$

donde:

Eh: Recarga por flujo horizontal

Rv: Recarga vertical

Ri: Recarga inducida

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo horizontal

Dn: Descarga natural

ETR: Evapotranspiración real

$\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

Todas las variables son volúmenes de agua expresadas en hm^3 .

2- Metodología de Cálculo del Balance Hídrico para el Territorio Nacional (Uruguay).

La Metodología del cálculo del balance hídrico para el territorio nacional implementado por el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) tiene por objetivo cuantificar diversos componentes del ciclo del agua en el suelo, estableciendo relaciones en el corto y mediano plazo entre las distintas variables hidrológicas y brindando información adicional de apoyo en la toma de decisiones.

3- Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas:

Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para

América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

El objetivo general de este documento es presentar una metodología para obtener balances hídricos por cuencas hidrográficas.

Un balance hidrogeológico tiene como fundamento la ecuación de continuidad, en la que se establece que la diferencia entre las salidas y las entradas de masa en un tiempo determinado son iguales al cambio de almacenamiento del volumen de control. Así, la ecuación empleada para ello se presenta a continuación:

$$I + Ri + Es - Etz - Sm - B = \Delta v \quad (4)$$

donde:

I: Infiltración-recarga de agua de lluvia.

Ri: Recarga inducida: retornos de riego, fugas en los sistemas de abastecimiento de agua de las zonas urbanas y aporte de agua por las arcillas.

Es: Entradas de agua al sistema por flujo lateral subterráneo proveniente de las fronteras de la zona de balance y por otros acuíferos.

Etz: Evapotranspiración de la zona saturada.

Sm: Salida de agua por manantiales.

B: Extracción de agua subterránea por bombeo.

Δv : Cambio en el volumen almacenado en el área y en el tiempo estipulado de balance.

Todas las variables son volúmenes de agua expresadas en hm^3 .

1.3.2 Procedimiento para el balance de agua en Cuba.

En Cuba el INRH establece la norma que respalda el procedimiento para la realización de balance de agua a nivel estatal. La misma recoge los elementos más importantes dentro de la gestión de los Organismos de la Administración Central del Estado (OACE) y como estos tributan al INRH para realizar el balance de agua anual en cada provincia y a nivel de país.

A continuación se muestra un resumen de algunas de las tareas que establece la norma. La información íntegra de este documento se muestra en el anexo IV.

Tarea No.3: Presentación en cada provincia, de las demandas de agua por los usuarios a las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico (EAH) y a las Empresas de Acueducto y Alcantarillado.

- Las entidades usuarias, a partir de las necesidades de agua de los planes de producción o de servicio, presentan y discuten con las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico y las empresas de Acueducto y Alcantarillado en su territorio de las demandas de agua por fuentes del modo de captación, argumentadas con el nivel de actividad previsto, y las normas de consumo de agua según los documentos oficialmente aprobados.
- La demanda se desglosará por fuentes, por actividades y por trimestre y se presentará en el modelo Demanda y Fundamentación del Consumo.
- Tendrá que considerarse a todos los usuarios independientemente del volumen de agua que estos demanden.

Tarea No.4: Elaboración de la propuesta de Balance de Agua por las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico en cada provincia.

- Las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico revisan y analizan las demandas presentadas por las entidades usuarias, teniendo en cuenta los criterios técnicos y las premisas siguientes:
 - Probabilidad de precipitaciones y balance del año en curso.
 - Argumentaciones de los incrementos o disminuciones sustanciales.
 - Los Consumos reales históricos en los últimos 5 años.
 - Los niveles de actividad.
 - Cumplimiento de las normas de consumo aprobadas.
 - Las acciones realizadas en los sistemas de las entidades usuarias en inversiones para mejorar eficiencia.

Tarea No.18: Desglose por trimestre de las cifras aprobadas del Balance de Agua por usuarios.

- A partir de las cifras aprobadas del Balance de Agua, las entidades usuarias procederán a desglosar por trimestres las mismas y las presentarán a las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico.

1.3.3 Realización del Balance de agua en Villa Clara.

Partiendo de lo establecido a nivel estatal en nuestro país, la Delegación del INRH en Villa Clara delega en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico la realización del Balance de agua en la provincia.

La EAH es la encargada de desglosar las cifras aprobadas por la Delegación provincial tanto para usuarios que demandan agua de fuentes de abasto superficiales como subterráneas.

Para realizar el balance de las aguas subterráneas, específicamente de los usuarios de la cuenca VC-1, la EAH utiliza como dato de partida el valor de los Recursos Potencialmente Explotables obtenidos de las mediciones que aparecen registradas en el Análisis integral de la cuenca del año 2002, lo que limita la veracidad los datos a partir de que el valor inicial a trabajar no toma en cuenta el cambio en el volumen almacenado en el período tiempo que antecede al balance y que depende, entre otros factores, de:

- La recarga de agua de lluvia.
- Entradas de agua al sistema por flujo lateral subterráneo proveniente de las fronteras de la zona de balance y por otros acuíferos.
- Recarga inducida.
- Pérdidas por evapotranspiración.
- Salida de agua por manantiales
- Extracción de agua subterránea por bombeo.

El valor de los Recursos Hídricos Disponibles en la cuenca, tramo o sector hidrogeológico se obtiene por la siguiente expresión:

$$\text{RHD} = \text{RPE} - \text{DemEntr} \quad (5)$$

donde:

RHD: recurso hídrico disponible en la cuenca, tramo o sector (hm^3).

RPE: recurso potencialmente explotable histórico en la cuenca, tramo o sector (hm^3).

DemEntr: demanda o entrega de agua en la cuenca, tramo o sector (hm^3).

Al realizar las estimaciones del RHD, partiendo de un valor fijo de los RPE en la cuenca, tramo o sector, provoca que los valores estimados presenten un determinado margen error al no existir diferencias entre los meses o entre los períodos de lluvia y sequía.

Otro problema que se presenta al calcular el RHD es que solo toma en cuenta las entregas o demandas y no la totalidad de los elementos que intervienen en la descarga y recarga de la cuenca como la evapotranspiración y la lluvia.

Conclusiones parciales:

- La realización del balance de agua es una herramienta fundamental para tener una aproximación del estado de los recursos hídricos que se encuentran en una cuenca o sector hidrogeológico, y así poder predecir el comportamiento de los mismos para próximos años.
- Al realizar las estimaciones del RHD en la EAH de Villa Clara se trabaja con valores de RPE inamovibles en el tiempo y se omiten elementos que intervienen en la descarga y recarga de la cuenca como la evapotranspiración y la lluvia.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LOS DATOS REFERIDOS AL BALANCE DE AGUA EN EL SECTOR HIDROGEOLÓGICO VC-I-1a.

En este capítulo se realiza un análisis de los datos y mediciones referidos al sector hidrogeológico VC-I-1a, centrando el estudio en las entregas, niveles estáticos y valores de lluvia registrados en el período analizado.

2.1 Características generales del sector hidrogeológico VC-I-1a.

La división de cuencas y tramos hidrogeológicos en Villa Clara se ejecutó en el año 1988. El sector hidrogeológico VC-I-1a pertenece y es el de mayor interés dentro de la cuenca subterránea VC-I (ver figura 3) debido a que abastece el polo turístico de Cayo Santa María. El mismo cuenta con un área de 57,20 km², teniendo un recurso natural promedio de 16,260 hm³/año y un recurso potencialmente explotable, para un 95% de probabilidad, de 11,300 hm³/año.

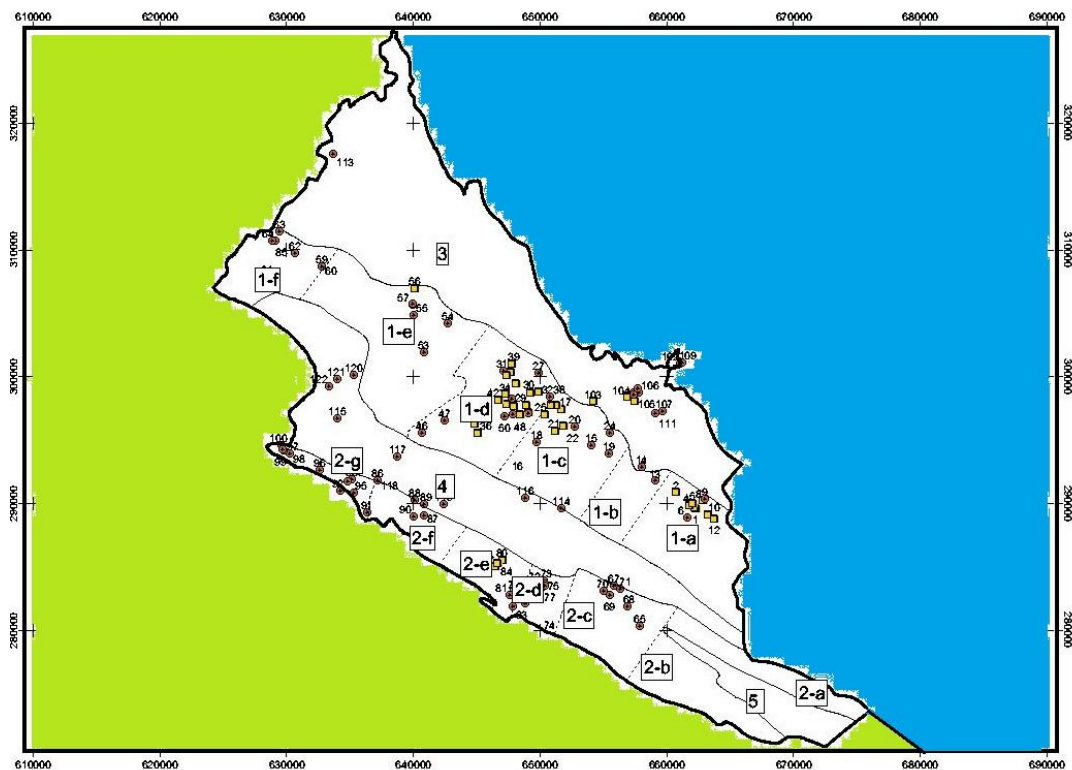


Figura 3. Sectores hidrogeológicos de la cuenca subterránea VC-I.

A continuación se resumen las características más importantes de este sector tomados del Análisis integral de la cuenca VC-I del año 2002.

1-Características físico-geográficas:

El sector VC-I-1a se encuentra comprendido en el Grupo de Regiones de Llanuras y específicamente dentro de la Llanura Costera del Norte de Las Villas (Villa Clara). Su mayor parte está ocupada por unas llanuras denudativas, dentro de estas se observa gran cantidad de alturas tectónico – erosivas: horst y bloques medianamente disecionados (de 60 a 100 m/km²) y pendientes que oscilan entre 5° y 30°, con escarpas erosivas y otras formas cárnicas del relieve tales como furnias, sumideros, etcétera.

2- Características geológicas:

En el área ocupada por este sector está difundido el complejo tectonofacial carbonatado, el cual está constituido por sedimentos carbonatados representados por calizas microcristalinas y organógenas con intercalaciones de dolomitas de la formación Palenque del Cretácico inferior-superior aptiano cenomaniano (pq K₁ ap-K₂ cm); estas rocas conforman el eje del anticlinorio Remedios y se encuentran fuertemente plegadas, con ángulos de inclinación de hasta 80°.

3-Características hidrogeológicas.

El espesor de la capa cobertora varía de 0 a 5m y corresponde con la zona de alimentación del manto acuífero desarrollado en este sector y ocupa la mayor parte de su superficie, lindando con los tramos situados al sur. El espesor del manto acuífero (H) está comprendido en el intervalo entre 10 y 20m.

La transmisividad (T) predominante del manto acuífero, desarrollado en las rocas colectoras carsificadas difundidas es de 2500 m²/d y diseminados en distintos puntos se observan valores ya menores ya mayores, lo cual se explica por las características intrínsecas de los macizos cárnicos: su heterogeneidad y anisotropía tanto en sentido horizontal como vertical.

La conductividad hidráulica (K) predominante de las rocas colectoras carsificadas es de 167 m/d. El coeficiente de almacenamiento (μ) posee un valor de 0, 060. Los caudales predominantes (Q) y por tanto más probables de obtener mediante las obras

de captación (sobre todo pozos) de las rocas colectoras carsificadas difundidas en este sector está entre los 50 y 100 l/s.

Los gastos específicos predominantes (q) se encuentran fundamentalmente en el intervalo de 10 a 50 l/(s.m), posee además un rango de 1 a 10 l/(s.m) que se encuentra en una estrecha franja hacia el sur en el límite con el tramo VC-I-4.

La alimentación de las aguas subterráneas difundidas en este sector ocurre fundamentalmente en su parte sur, donde el espesor de la capa cobertora es menor de 5 m y por ende se facilita la infiltración de las aguas pluviales (principal fuente de alimentación), también las aguas subterráneas que drenan del sector VC-I-4-a participan en la alimentación del sector analizado, de tal manera vemos que el mismo goza de una alimentación complementaria, que aunque no evaluada cuantitativamente si se asume como considerable, lo cual explicaría los elevados recursos de agua subterránea existentes.

La descarga (drenaje) de las aguas subterráneas ocurre tanto por causas naturales como antropogénicas: la causa natural principal está constituida por el drenaje superficial a través de los innumerables canales y zanjas que tienen su origen en las zonas de contacto entre las rocas cretácicas de alta conductividad hidráulica y las paleogénicas de baja conductividad, por lo cual el flujo subterráneo se ve forzado a escurrir superficialmente, también tiene lugar el escurrimiento subterráneo profundo, pero su magnitud no ha sido posible evaluarla, la causa artificial del drenaje está dada por la explotación de las aguas subterráneas para abasto a diversos usuarios.

2.2 Análisis estadístico de los datos históricos referidos al sector hidrogeológico VC-I-1a.

Con la realización del análisis estadístico del comportamiento de la lluvia, las extracciones y niveles estáticos referentes al sector hidrogeológico VC-I-1a, se pretende encontrar un elemento que se relacione, con un alto grado de confiabilidad, con los volúmenes de agua del sector, para poder ser utilizado en el cálculo de los RHD.

Como premisa se cuenta con los valores aproximados de los volúmenes de los recursos naturales mensuales del año 2001 en el sector recogidos en el Análisis integral de la cuenca VC-I del año 2002.

Los datos utilizados en el estudio fueron aportados por la Delegación del INRH en Villa Clara así como por su Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Todo el análisis se realizó con el empleo del procesador estadístico SPSS.

2.2.1 Análisis del comportamiento de la lluvia en el sector.

De los aspectos a tener en cuenta para hacer el balance de agua, la lluvia es el elemento más importante al ser este un factor que influye directamente en la recarga de la aguas subterráneas, a continuación se muestra el comportamiento de la lluvia en el sector en el año 2001 con respecto al volumen del recurso natural y al nivel estático (ver figura 5).

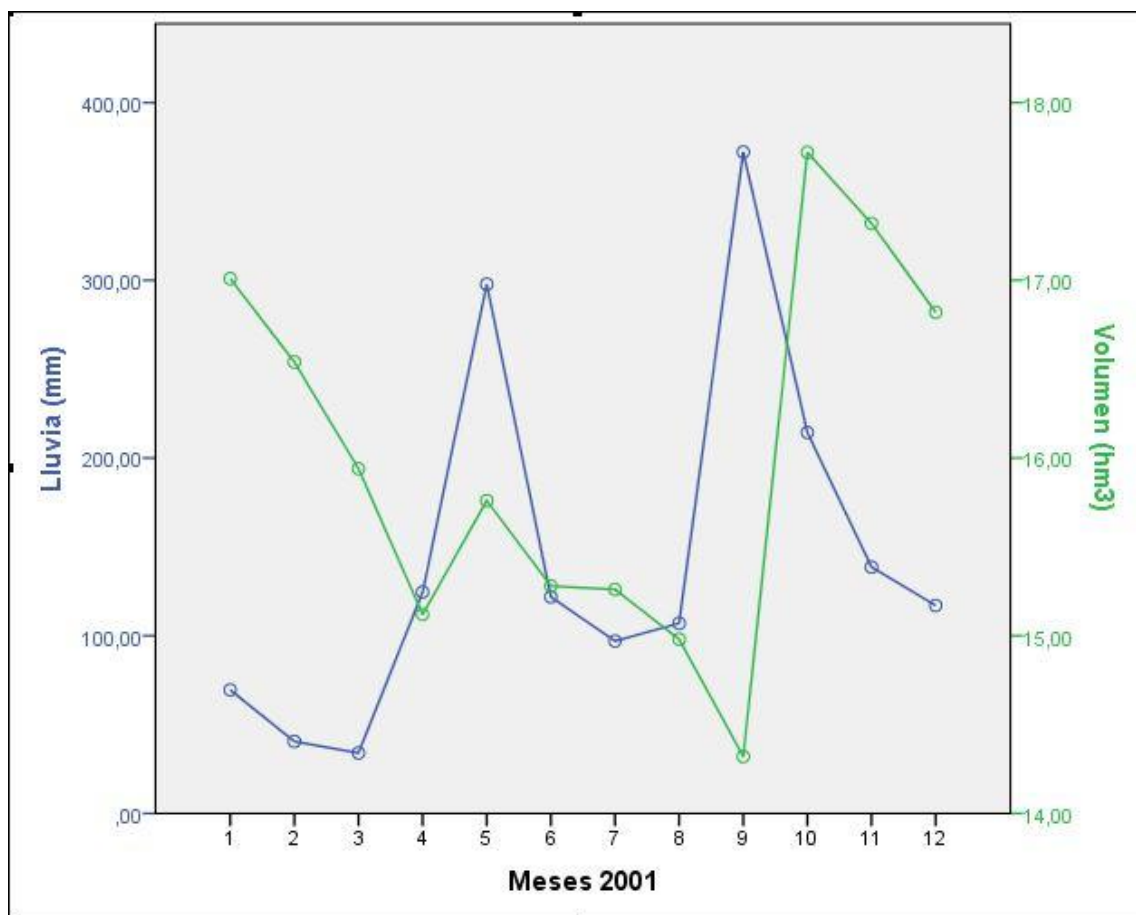


Figura 5. Comportamiento de la lluvia con respecto al volumen (año 2001).

Aunque existe una dependencia lógica, que puede ser observada en la figura anterior, al realizar el análisis de regresión entre ambas variables (volumen, lluvia) se tiene que los valores de significación y de R cuadrado de los modelos, reflejados en la tabla 1, lo excluyen para ser utilizado.

Tabla 1: Análisis de regresión lluvia-volumen: año 2001.

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	,085	,928	1	10	,358	16,445	-,003		
Logarithmic	,046	,479	1	10	,505	17,523	-,319		
Inverse	,022	,230	1	10	,642	15,795	19,362		
Quadratic	,197	1,106	2	9	,372	15,461	,011	-3,596E-005	
Cubic	,381	1,640	3	8	,256	17,105	-,031	,000	-4,855E-007
Compound	,096	1,058	1	10	,328	16,445	1,000		
Power	,054	,568	1	10	,469	17,701	-,022		
S	,028	,283	1	10	,606	2,756	1,338		
Growth	,096	1,058	1	10	,328	2,800	,000		
Exponential	,096	1,058	1	10	,328	16,445	,000		
Logistic	,096	1,058	1	10	,328	,061	1,000		

Estos resultados reflejan lo indicado en el estudio hidrogeológico cuando se expresa que además de la lluvia las aguas subterráneas que drenan del sector VC-I-4-a participan en la alimentación del sector VC-I-1a, de tal manera que el mismo goza de una alimentación complementaria considerable, lo cual explicaría los elevados recursos de agua subterránea existentes.

Seguidamente se pasó a analizar la relación entre la lluvia y los niveles estáticos registrados en el sector para el año 2001. Los resultados se muestran en la figura 6 y la tabla 2.

Tabla 2: Análisis de regresión lluvia-nivel estático: año 2001.

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	,007	,072	1	10	,794	7,045	,001		
Logarithmic	,000	,000	1	10	,994	7,126	,002		
Inverse	,002	,018	1	10	,895	7,094	4,043		
Quadratic	,138	,719	2	9	,513	7,820	-,011	2,833E-005	
Cubic	,242	,851	3	8	,504	6,915	,013	,000	2,672E-007
Compound	,004	,041	1	10	,843	7,023	1,000		
Power	,000	,005	1	10	,945	7,218	-,004		
Growth	,004	,041	1	10	,843	1,949	7,192E-005		
Exponential	,004	,041	1	10	,843	7,023	7,192E-005		

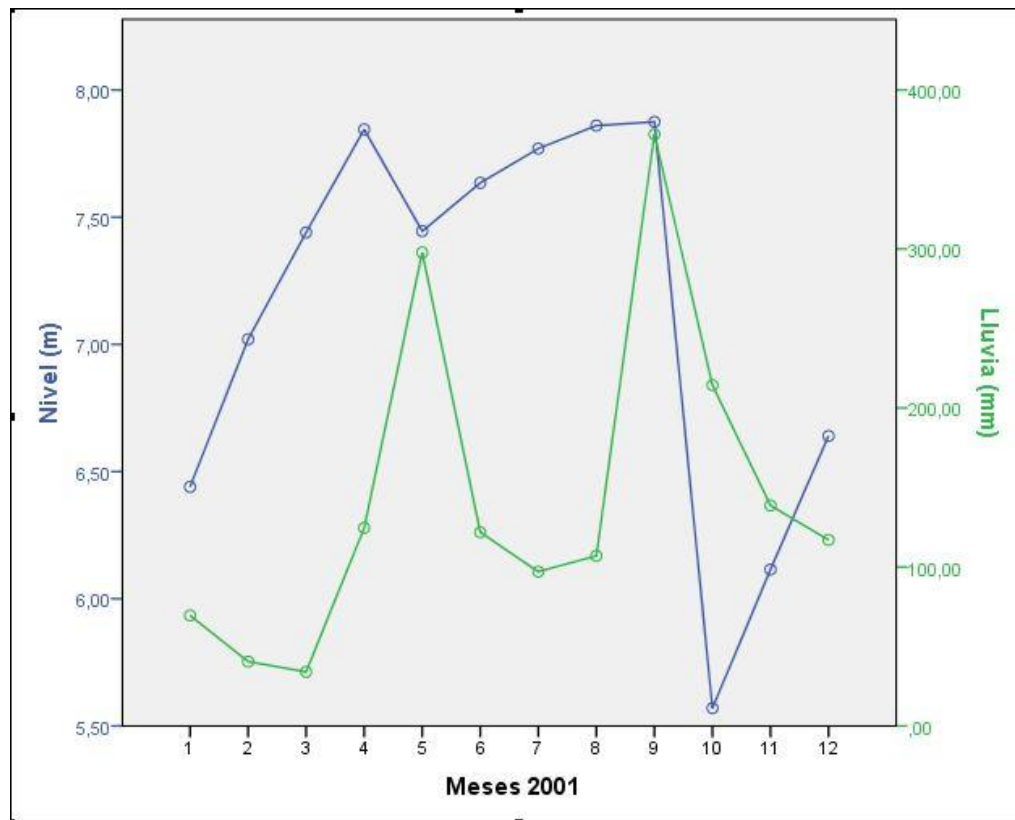


Figura 5. Comportamiento de la lluvia con respecto al nivel estático (año 2001).

Al observar comportamiento de la lluvia con respecto al nivel del sector, reflejado en la figura 5, puede apreciarse que la lluvia tiene una estrecha relación con el nivel de la cuenca, pero el estudio de los elementos estadísticos reflejan un valor de R^2 muy por debajo del 95%. Este mismo comportamiento se obtuvo al realizar el análisis del período 2012-2014 (ver anexo I).

2.2.2 Análisis del comportamiento de las entregas.

Como segundo elemento a analizar se tomó el comportamiento de las entregas, siendo este otro elemento que influye directamente en el balance de agua. La cantidad de agua extraída en un período de tiempo es uno de los aspectos utilizados en el balance de agua.

El análisis de regresión entre los volúmenes de entregas y los volúmenes del sector no se pudo realizar para el año 2001 por no contarse con los datos necesarios para hacerlo.

Se analizaron los datos referidos a las entregas y su relación con los niveles estáticos de los años 2012 al 2014 (ver tabla 3 y figura 6).

Tabla 3: Análisis de regresión entrega-nivel estático: años 2012-2014.

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	,009	,319	1	34	,576	7,113	,477		
Logarithmic	,005	,157	1	34	,695	7,480	,166		
Inverse	,001	,040	1	34	,842	7,432	-,035		
Quadratic	,034	,583	2	33	,564	8,356	-4,920	4,866	
Cubic	,036	,403	3	32	,752	7,306	2,410	-10,565	9,779
Compound	,010	,329	1	34	,570	7,009	1,075		
Power	,004	,136	1	34	,714	7,395	,023		
S	,001	,020	1	34	,889	1,991	-,004		
Growth	,010	,329	1	34	,570	1,947	,072		
Exponential	,010	,329	1	34	,570	7,009	,072		
Logistic	,010	,329	1	34	,570	,143	,931		

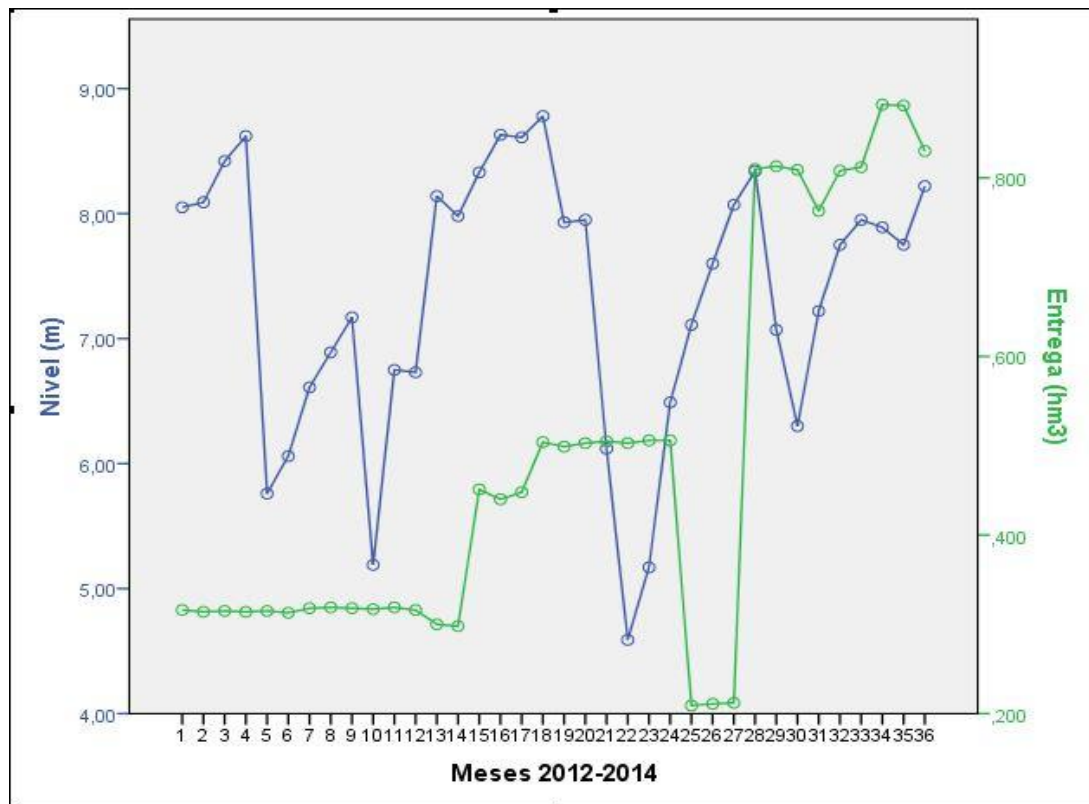


Figura 6. Comportamiento nivel estático respecto a la entrega (años 2012-2014).

Si se observa el comportamiento de las entregas respecto al nivel estático del sector, reflejado en la tabla 3 y la figura 6, puede apreciarse que los valores de R^2 están muy por debajo del 95% lo que refleja la poca dependencia de los niveles estáticos en relación a los volúmenes de entrega.

2.2.3 Análisis de del comportamiento de los niveles estáticos.

Por último se analizó la relación del nivel estático con el volumen del sector (para el año 2001). Basándose en los resultados mostrados en la tabla 4 se puede asegurar que, de las variables que tienen relación directa con el volumen de los recursos naturales, es el nivel estático el que posee los mayores valores de confiabilidad, con un R^2 que se encuentra por encima del 95% y niveles de significación que tienden a 0 y por lo tanto se pueden despreciar.

Tabla 4: Análisis de regresión nivel estático-volumen del sector: año 2001.

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	,922	118,749	1	10	,000	25,385	-1,314		
Logarithmic	,903	92,610	1	10	,000	33,302	-8,826		
Inverse	,879	72,407	1	10	,000	7,706	58,536		
Quadratic	,963	115,680	2	9	,000	5,085	4,695	-,439	
Cubic	,964	121,021	2	9	,000	15,311	,000	,273	-,036
Compound	,907	97,128	1	10	,000	28,537	,922		
Power	,885	77,181	1	10	,000	46,520	-,545		
S	,860	61,410	1	10	,000	2,259	3,614		
Growth	,907	97,128	1	10	,000	3,351	-,081		
Exponential	,907	97,128	1	10	,000	28,537	-,081		
Logistic	,907	97,128	1	10	,000	,035	1,085		

Además del análisis estadístico, la representación en un gráfico de doble entrada de las variables tratadas (ver figura 7) demuestra la interrelación entre ellas. Los picos de los valores máximos y mínimos de niveles estáticos coinciden con los valores mínimos y máximos del volumen almacenado en el sector para un mismo período de tiempo.

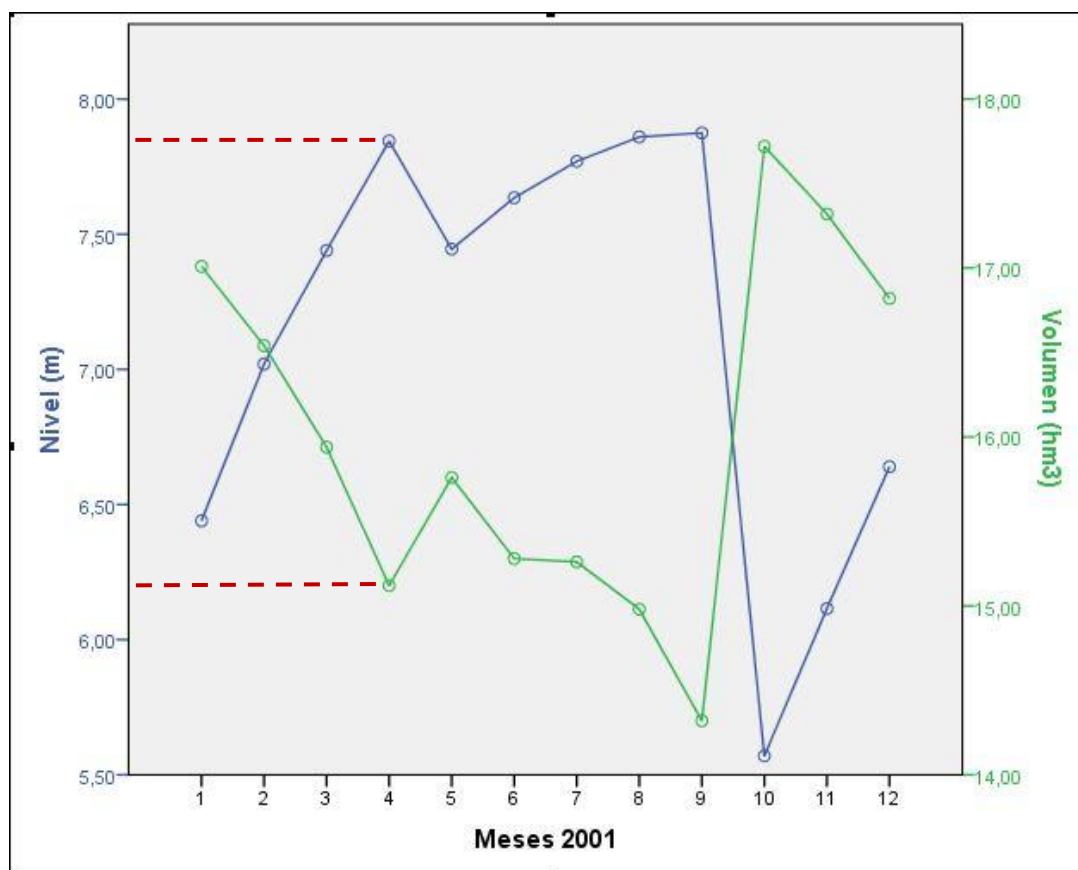


Figura 7. Comportamiento del nivel estático y el volumen.

Del resultado obtenido se deduce que es el nivel estático de las aguas el que mayor interrelación posee con el volumen del recurso natural del sector hidrogeológico objeto de estudio en relación con las otras variables analizadas (lluvia y entregas) como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Resumen de los valores de R^2 y significación.

Variables	Año	Modelo	R^2	Sig.
Volumen del sector vs Lluvia	2001	Cúbico	0,38	0,256
Volumen del sector vs Nivel Estático	2001	Cúbico	0,964	0,000
Nivel estático vs Lluvia	2001	Cúbico	0,216	0,559
Nivel estático vs Lluvia	2012-2014	Cúbico	0,258	0,021
Nivel estático vs Entrega	2012-2014	Cúbico	0,036	0,752

La ecuación de correlación obtenida se muestra a continuación:

$$Rnat = (-0,036 x^3) + 0,273 x^2 + 15,311 \quad (6)$$

donde:

Rnat: valor de los recursos hídricos naturales (hm³).

x: valor promedio de los niveles estáticos de los pozos de monitoreo (m).

2.2.4 Algoritmo propuesto para la determinación del Recurso Hídrico Disponible del sector hidrogeológico VC-I-1a.

Teniendo como referencia el objetivo general de esta investigación, que refiere elaborar una herramienta de trabajo que permita determinar de forma operativa los RHD en el sector hidrogeológico VC-I-1a como resultado de la realización del Balance de agua lo más ajustado posible a los valores reales, se propone el siguiente algoritmo de trabajo para la determinación del Recurso Hídrico Disponible del sector.

1^{er} paso: Determinación de los volúmenes aproximados de los recursos naturales del sector.

Como primer elemento a tener en cuenta en el cálculo de los RHD se encuentra la determinación de los recursos hídricos naturales. Para esto se deben conocer el valor de los niveles estáticos de pozos de monitoreo que se tengan en el sector y luego promediarlos.

Una vez que se tengan los valores de los niveles estáticos promediados se utiliza la expresión 6 para determinar los volúmenes aproximados del recurso natural.

2^{do} paso: Determinación de las entregas de agua en el período a analizar.

Luego de tener el valor de los recursos naturales se cuantifican la totalidad de las demandas de agua para el sector hidrogeológico en el período de tiempo que se está tratando. Estas demandas deben estar desglosadas por organismos.

3^{er} paso: Cálculo del recurso potencialmente explotable para un 95% de probabilidad.

Teniendo en cuenta que los RHD se determinan a partir de los recursos potencialmente explotables y que la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara trabaja con valores de estos recursos para un 95% de probabilidad, se calcula este valor a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Rpe95\%} = -0,001\text{Rnat}^2 + 0,746 \text{ Rnat} - 0,547 \quad (7)$$

donde:

Rpe95%: recursos potencialmente explotables para un 95% de probabilidad (hm³)

4^{to} paso: Determinación de los RHD en el sector.

Como último paso se determinan los recursos hídricos disponibles mediante la expresión que se muestra a continuación:

$$\text{RHD} = \text{Rpe95\%} - \text{EntDem} \quad (8)$$

donde:

EntDem: valor total de las entregas o demandas de agua en el sector (hm³).

Para agilizar y automatizar los cálculos se programó una hoja en Microsoft Excel a partir del algoritmo de cálculo propuesto.

Conclusiones parciales:

- Se demostró estadísticamente que, de las variables analizadas en la correlación con los volúmenes de los recursos naturales del sector hidrogeológico, es el valor nivel estático la que mayor grado de significación presenta.
- Es posible determinar los recursos hídricos disponibles, en el sector hidrogeológico VC-I-1a, a partir de conocer los valores de los niveles estáticos de los pozos de monitoreo con una mayor confiabilidad.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo se muestra la aplicación de la solución propuesta a un caso de estudio real facilitado por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico que tiene como objetivo determinar los valores de los RHD a partir de los datos de los pozos de muestreo del año 2014.

3.1 Ejemplo de cálculo de los RHD.

Para ejemplificar el algoritmo propuesto, se procede a realizar el cálculo de los recursos hídricos disponibles en el sector tomando como ejemplo para el cálculo el año 2014.

3.1.1 Determinación de los volúmenes aproximados de los recursos naturales del sector.

Se introdujo en la hoja de cálculo los valores de los niveles estáticos de los pozos de muestreo del sector hidrogeológico VC-I-1a, DS-34 y L-I-1, obteniéndose los valores de los RHN (recursos hídricos naturales) como se muestra en la figura 8.

En la tabla No.6 se muestran los datos referidos a los niveles estáticos, tomados en el sector en el año 2014, de los pozos a los cuales se realiza monitoreo.

Tabla No. 6 Datos de los niveles estáticos, de los pozos de monitoreo, del sector hidrogeológico VC-I-1a (año 2014).

	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2014	DS-34	7,21	7,60	8,00	8,11	7,06	6,80	7,35	7,68	7,82	7,95	7,66	8,16
	L-I-1	7,00	7,59	8,13	8,57	7,07	5,80	7,08	7,81	8,08	7,82	7,84	8,27
	Promedio	7,11	7,60	8,07	8,34	7,07	6,30	7,22	7,75	7,95	7,89	7,75	8,22

	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio	Total
Nivel Estático	DS-34	7,21	7,60	8,00	8,11	7,06	6,80	7,35	7,68	7,82	7,95	7,66	8,16	7,62	
Mensual(m)	L-I-1	7,00	7,59	8,13	8,57	7,07	5,80	7,08	7,81	8,08	7,82	7,84	8,27	7,59	
Promedio(m)		7,11	7,60	8,07	8,34	7,07	6,30	7,22	7,75	7,95	7,89	7,75	8,22	7,60	
Recurso Natural (hm3)		16,18	15,29	14,18	13,42	16,24	17,14	16,00	14,96	14,48	14,64	14,95	13,78		181,26
Recurso Potencialmente Explotable (95%)(hm3)															
Usuarios	Acueducto														
	Minagri														
	Azcuba														
	Otros Abastos														
Recurso Comprometido Total(hm3)															
Recurso Disponible(hm3)															

Figura. 8 Ejemplo de cálculo.

3.1.2 Determinación de las demandas de agua en el período a analizar.

En este paso se determinan las entregas de agua de los organismos que tienen incidencia en dicho sector. El resumen de estos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla No. 7 Datos de las entregas realizada a los usuarios desglosada por meses.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Usuarios	Acueducto	0,721	0,749	0,719	0,742	0,745	0,741	0,752	0,750	0,750	0,752	0,753	0,747
	Minagri	0,136	0,136	0,136	0,067	0,067	0,068	0,061	0,060	0,060	0,128	0,128	0,128
	Azcuba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otros Abastos	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003

3.1.3 Cálculo del recurso potencialmente explotable para un 95% de probabilidad.

Una vez ingresados los valores de las entregas de agua del año 2014 el programa automáticamente calcula el RPE para un 95% de probabilidad como se muestra en la figura 9 y 10.

	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio	Total
Nivel Estático	DS-34	7,21	7,60	8,00	8,11	7,06	6,80	7,35	7,68	7,82	7,95	7,66	8,16	7,62	
Mensual(m)	L-I-1	7,00	7,59	8,13	8,57	7,07	5,80	7,08	7,81	8,08	7,82	7,84	8,27	7,59	
Promedio(m)		7,11	7,60	8,07	8,34	7,07	6,30	7,22	7,75	7,95	7,89	7,75	8,22	7,60	
Recurso Natural (hm3)		16,18	15,29	14,18	13,42	16,24	17,14	16,00	14,96	14,48	14,64	14,95	13,78		181,26
Recurso Potencialmente Explotable (95%)(hm3)															
Usuarios	Acueducto	0,721	0,749	0,719	0,742	0,745	0,741	0,752	0,750	0,750	0,752	0,753	0,747		8,921
	Minagri	0,136	0,136	0,136	0,067	0,067	0,068	0,061	0,060	0,060	0,128	0,128	0,128		1,175
	Azcuba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,000
	Otros Abastos	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003		0,036
Recurso Comprometido Total(hm3)															
Recurso Disponible(hm3)															

Figura 9. Ejemplo de cálculo.

	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio	Total
Nivel Estático	DS-34	7,21	7,60	8,00	8,11	7,06	6,80	7,35	7,68	7,82	7,95	7,66	8,16	7,62	
Mensual(m)	L-I-1	7,00	7,59	8,13	8,57	7,07	5,80	7,08	7,81	8,08	7,82	7,84	8,27	7,59	
Promedio(m)		7,11	7,60	8,07	8,34	7,07	6,30	7,22	7,75	7,95	7,89	7,75	8,22	7,60	
Recurso Natural (hm3)		16,18	15,29	14,18	13,42	16,24	17,14	16,00	14,96	14,48	14,64	14,95	13,78		181,26
Recurso Potencialmente Explotable (95%)(hm3)		11,26	10,62	9,83	9,28	11,31	11,95	11,13	10,39	10,04	10,16	10,38	9,54		172,19
Usuarios	Acueducto	0,721	0,749	0,719	0,742	0,745	0,741	0,752	0,750	0,750	0,752	0,753	0,747		8,921
	Minagri	0,136	0,136	0,136	0,067	0,067	0,068	0,061	0,060	0,060	0,128	0,128	0,128		1,175
	Azcuba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,000
	Otros Abastos	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003		0,036
Recurso Comprometido Total(hm3)															
Recurso Disponible(hm3)															

Figura 10. Ejemplo de cálculo

3.1.4 Determinación de los RHD en el sector.

Partiendo de que ya se tienen los valores de RHPE en el sector hidrogeológico VC-I-1a, el RHD se calcula de forma automática con el empleo de la expresión 8, como se muestra en la figura 11.

	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio	Total
Nivel Estático	DS-34	7,21	7,60	8,00	8,11	7,06	6,80	7,35	7,68	7,82	7,95	7,66	8,16	7,62	
Mensual(m)	L-I-1	7,00	7,59	8,13	8,57	7,07	5,80	7,08	7,81	8,08	7,82	7,84	8,27	7,59	
Promedio(m)		7,11	7,60	8,07	8,34	7,07	6,30	7,22	7,75	7,95	7,89	7,75	8,22	7,60	
Recurso Natural (hm3)		16,18	15,29	14,18	13,42	16,24	17,14	16,00	14,96	14,48	14,64	14,95	13,78		181,26
Recurso Potencialmente Explotable (95%)(hm3)		11,26	10,62	9,83	9,28	11,31	11,95	11,13	10,39	10,04	10,16	10,38	9,54		172,19
Usuarios	Acueducto	0,721	0,749	0,719	0,742	0,745	0,741	0,752	0,750	0,750	0,752	0,753	0,747		8,921
	Minagri	0,136	0,136	0,136	0,067	0,067	0,068	0,061	0,060	0,060	0,128	0,128	0,128		1,175
	Azcuba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,000
	Otros Abastos	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003		0,036
Recurso Comprometido Total(hm3)		0,860	0,889	0,858	0,812	0,815	0,811	0,816	0,813	0,813	0,883	0,884	0,878		10,132
Recurso Disponible(hm3)		10,402	9,734	8,974	8,470	10,491	11,138	10,318	9,578	9,230	9,274	9,499	8,662	9,647	

Figura 11. Ejemplo de cálculo.

Conclusiones parciales

Quedó demostrado que la utilización de una hoja de cálculo en el programa Excel, utilizando el algoritmo de trabajo propuesto agiliza y reduce los niveles de error en los cálculos de los RHD.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se elaboró un algoritmo de trabajo que permita determinar de forma operativa los RHD de la en el sector hidrogeológico VC-I-1a como resultado de la realización del Balance de agua lo más ajustado posible a los valores reales.
- El análisis estadístico de los datos referidos a la lluvia, entrega y nivel estático del sector hidrogeológico VC-I-1a y su relación con el volumen de los RHN arrojó que la variable con mayor grado de significación lo tiene el nivel estático.

Recomendaciones:

- Se recomienda al Delegación realizar un estudio hidrogeológico al sector con el objetivo de actualizar los valores de las características hidrogeológicas del sector incluyendo los valores de los RHN existentes en el mismo y de esta forma poder validar la propuesta planteada en esta tesis.
- Se recomienda además que los resultados obtenidos se propongan para que en la EAH de Villa Clara y en la subdelegación técnica para obtener valores de RHD con mayor veracidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Domínguez, E. I. P. (2012). Informe del manejo de los acuíferos costa norte Villa Clara. GEARH: 29.
- Otálvaro, M. V. V. (1999). Hidráulica de aguas subterráneas.
- Sánchez, I. R. d. T. (2009). Evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande. Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas: 81.

Bibliografía:

- agua., C. N. d. (2009) Disponibilidad media anual del agua subterránea. 28
- Alfaro, I. P. Metodología de Cálculo del Balance Hídrico para el territorio nacional. 14
- Domínguez, E. I. P. (2012). Gestión sobre la explotación de los recursos de agua en una cuenca subterránea. GEARH: 22.
- Domínguez, E. I. P. (2012). Informe del manejo de los acuíferos costa norte Villa Clara. GEARH: 29.
- España/UNESCO, I. N. d. H. d. Método del calculo de balance hídrico. Guía internacional de investigaciones y métodos.
- Franco, D. P. (2001). La explotación del agua subterránea. Un nuevo enfoque.
- Javier Aparicio Mijares, J. L. C., Alfonso Gutiérrez López, Roberto Mejía Zermeño, Ernesto Aguilar Garduño (2005). "Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas " **Numero 4:** 98.
- Jiménez, I. H. R. (2003). Análisis integral cuenca hidrogeológica VC-I. E. d. I. y. P. Hidráulicos: 101.
- Jiménez, I. H. R. (2006). Actualización del mapa hidrogeológico provincial de Villa Clara. E. d. I. y. P. Hidráulicos.: 204.
- Otálvaro, M. V. V. "Métodos para determinar la recarga de un acuífero." 20.
- Otálvaro, M. V. V. (1999). Hidráulica de aguas subterráneas.
- Sánchez, I. R. d. T. (2009). Evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande. Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas: 81.
- UNESCO (1982) Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico en América del Sur
130

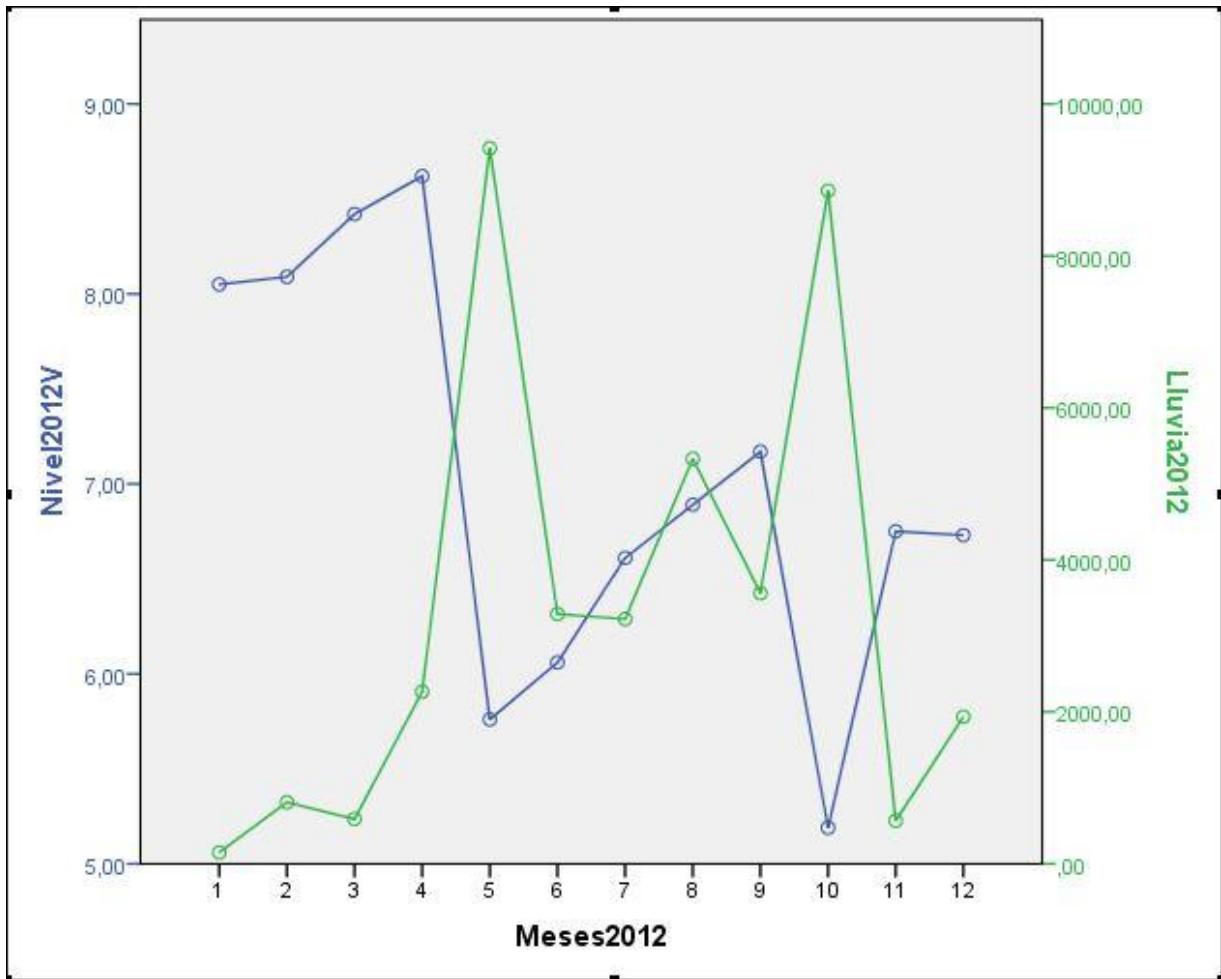
ANEXOS**Anexo I** Datos de los comportamientos de la lluvia en el período 2012-2014.

Figura 1. Comportamiento de la lluvia con respecto al nivel estático (año 2012)

Tabla No. 1 Análisis de regresión lluvia-nivel estático del sector: año 2012

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,581	13,873	1	10	,004	7,915	,000		
Logarítmica	,471	8,909	1	10	,014	11,562	-,599		
Inversa	,198	2,470	1	10	,147	6,731	261,072		
Cuadrático	,584	6,308	2	9	,019	7,993	,000	6,619E-009	
Cúbico	,584	3,739	3	8	,060	8,006	,000	1,402E-008	-5,510E-013
Compuesto	,619	16,235	1	10	,002	7,936	1,000		
Potencia	,483	9,332	1	10	,012	13,527	-,088		
S	,197	2,453	1	10	,148	1,896	37,776		
Crecimiento	,619	16,235	1	10	,002	2,071	-3,982E-005		
Exponencial	,619	16,235	1	10	,002	7,936	-3,982E-005		
Logística	,619	16,235	1	10	,002	,126	1,000		

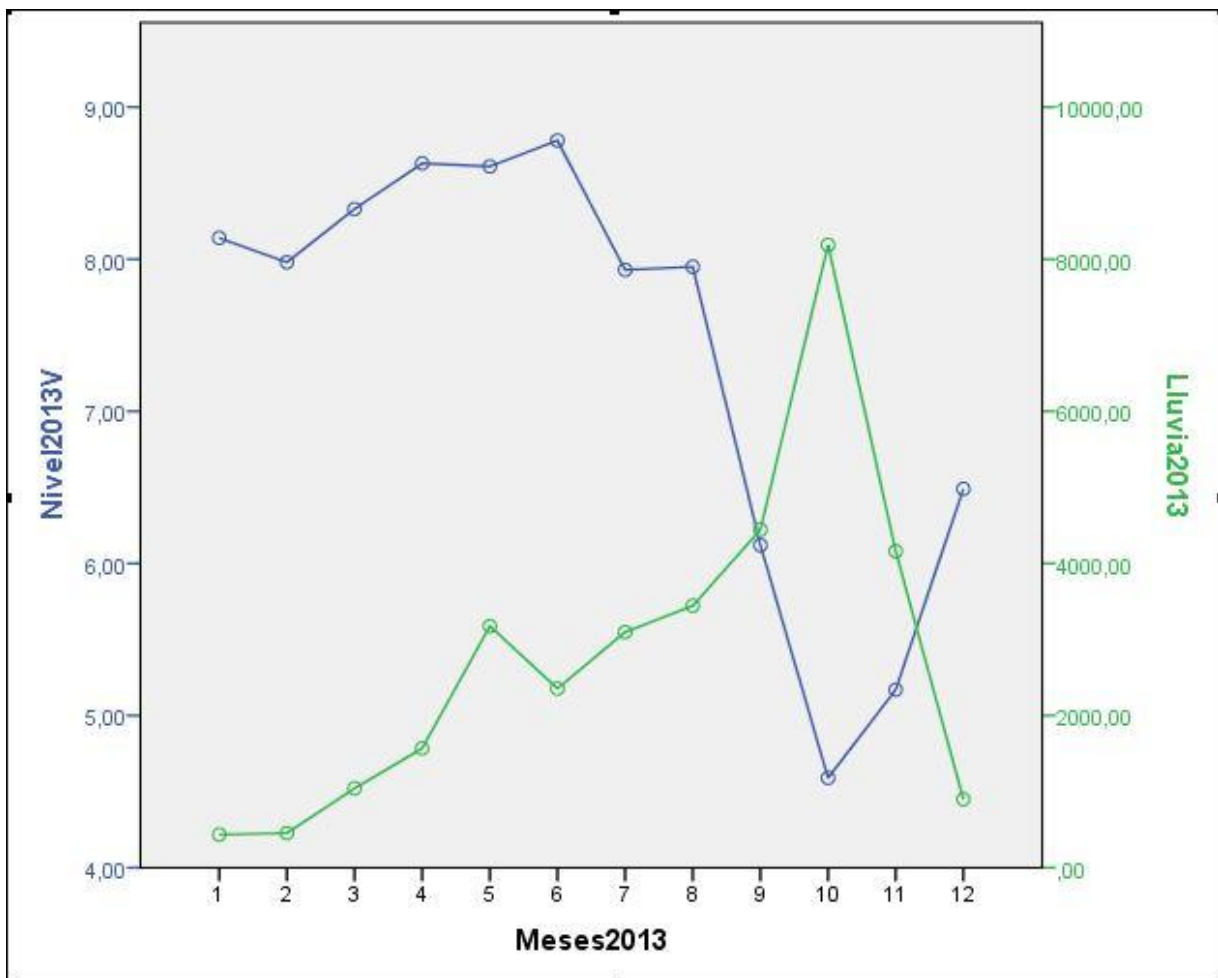


Figura 2. Comportamiento de la lluvia con respecto al nivel estático (año 2013)

Tabla No. 2 Análisis de regresión nivel estático-volumen del sector: año 2013

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,494	9,760	1	10	,011	8,656	,000		
Logarítmica	,260	3,508	1	10	,091	13,343	-,784		
Inversa	,104	1,155	1	10	,308	6,930	608,450		
Cuadrático	,549	5,468	2	9	,028	8,118	-2,055E-005	-5,488E-008	
Cúbico	,725	7,014	3	8	,013	6,349	,003	-1,030E-006	7,887E-011
Compuesto	,541	11,770	1	10	,006	8,855	1,000		
Potencia	,287	4,016	1	10	,073	18,706	-,125		
S	,117	1,325	1	10	,277	1,906	98,146		
Crecimiento	,541	11,770	1	10	,006	2,181	-7,229E-005		
Exponencial	,541	11,770	1	10	,006	8,855	-7,229E-005		
Logística	,541	11,770	1	10	,006	,113	1,000		

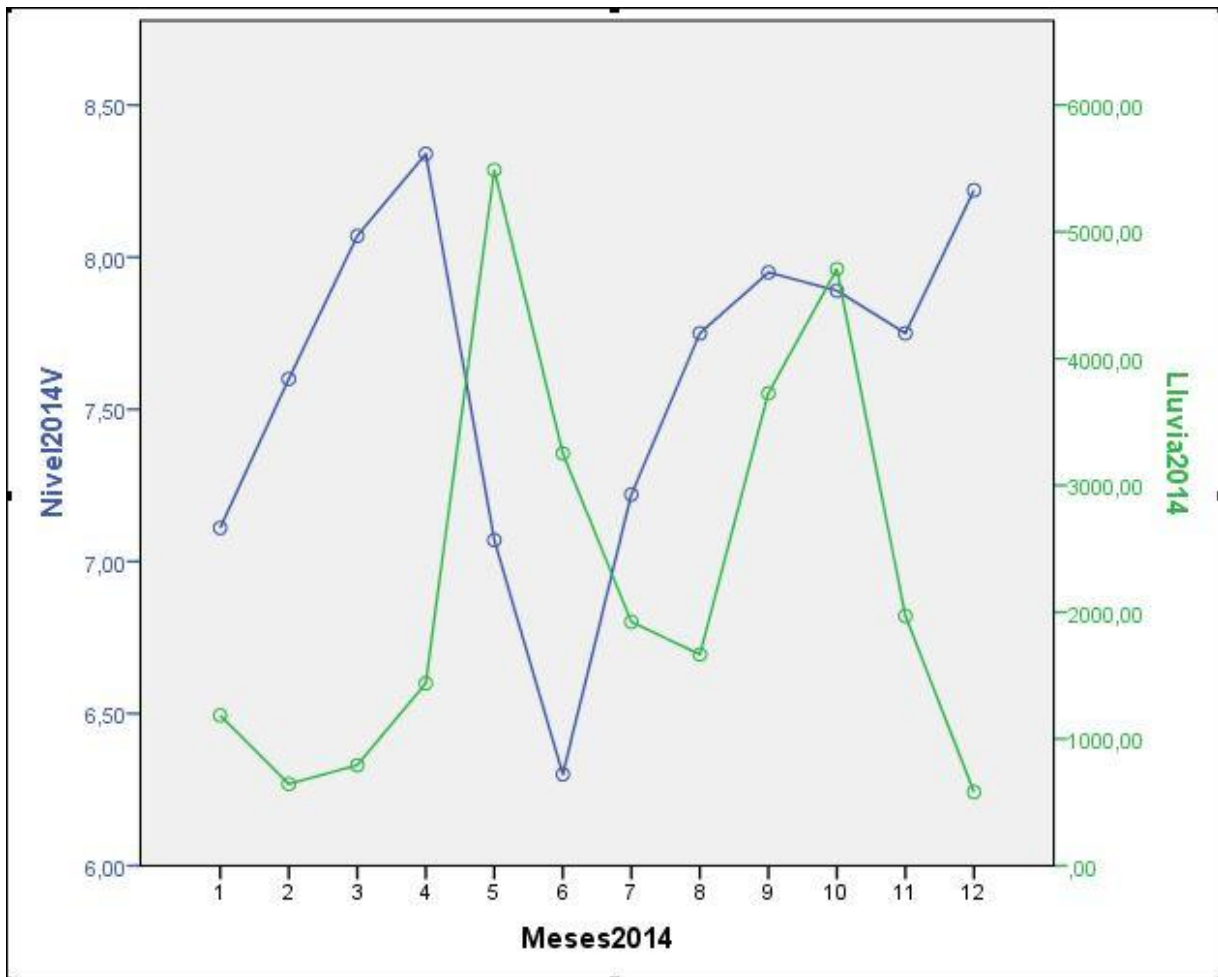


Figura 3. Comportamiento de la lluvia con respecto al nivel estático (año 2014)

Tabla No. 3 Análisis de regresión nivel estático-volumen del sector: año 2014

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,117	1,319	1	10	,277	7,884	,000		
Logarítmica	,152	1,792	1	10	,210	9,861	-,301		
Inversa	,158	1,870	1	10	,201	7,286	442,950		
Cuadrático	,158	,845	2	9	,461	8,192	,000	5,538E-008	
Cúbico	,183	,597	3	8	,635	8,580	-,001	3,252E-007	-3,075E-011
Compuesto	,114	1,289	1	10	,283	7,875	1,000		
Potencia	,150	1,764	1	10	,214	10,297	-,041		
S	,155	1,835	1	10	,205	1,983	59,979		
Crecimiento	,114	1,289	1	10	,283	2,064	-1,646E-005		
Exponencial	,114	1,289	1	10	,283	7,875	-1,646E-005		
Logística	,114	1,289	1	10	,283	,127	1,000		

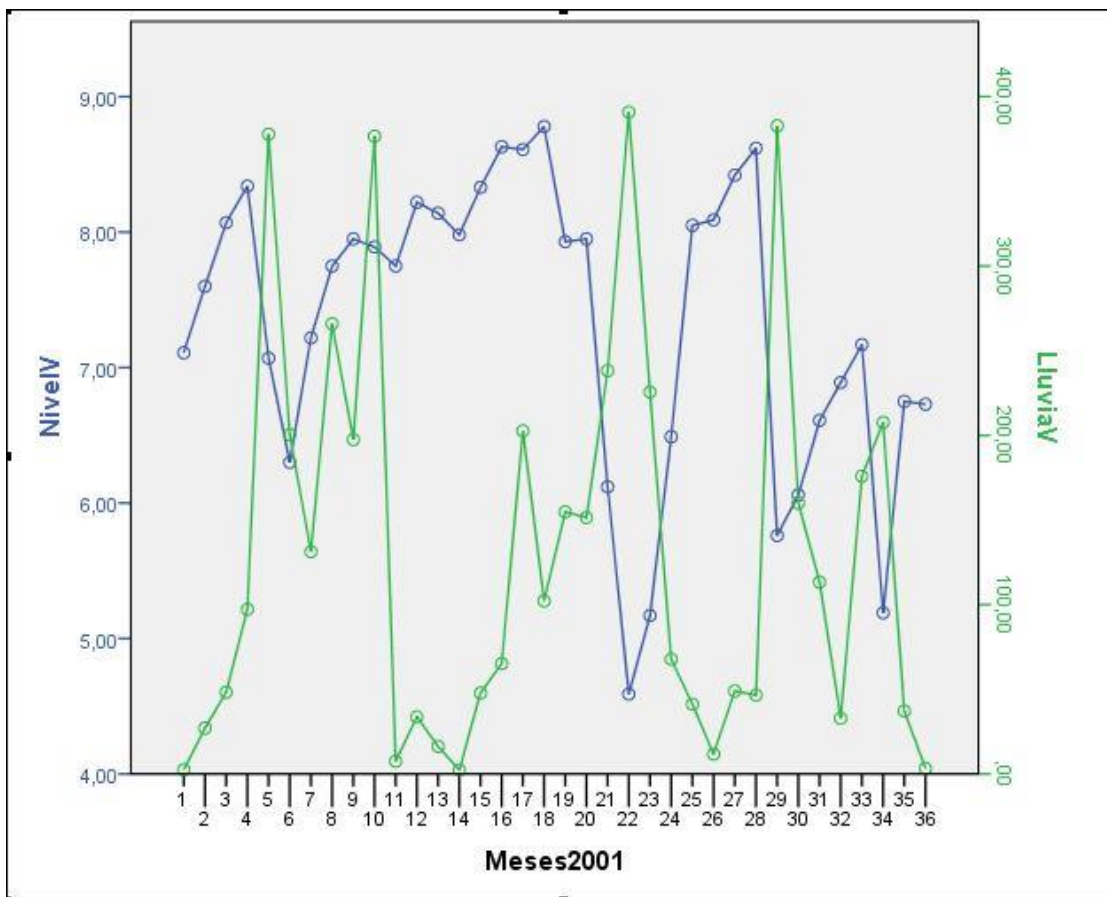


Figura 4. Comportamiento de la lluvia con respecto al nivel estático (año 2012-2014).

Tabla No. 4 Análisis de regresión lluvia-nivel estático: año 2012-2014.

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,231	10,195	1	34	,003	7,916	-,004		
Logarítmica	,099	3,728	1	34	,062	8,367	-,242		
Inversa	,005	,159	1	34	,692	7,307	,714		
Cuadrático	,232	4,978	2	33	,013	7,872	-,003	-2,584E-006	
Cúbico	,258	3,715	3	32	,021	7,582	,010	-9,588E-005	1,623E-007
Compuesto	,247	11,145	1	34	,002	7,923	,999		
Potencia	,111	4,252	1	34	,047	8,524	-,038		
S	,008	,258	1	34	,614	1,975	,135		
Crecimiento	,247	11,145	1	34	,002	2,070	-,001		
Exponencial	,247	11,145	1	34	,002	7,923	-,001		
Logística	,247	11,145	1	34	,002	,126	1,001		

Meses	2001	2012	2013	2014
Enero	69,50	2,60	16,30	41,20
Febrero	40,50	27,10	2,30	11,70
Marzo	34,00	48,30	47,80	49,00
Abril	124,60	97,30	65,20	46,60
Mayo	297,80	377,80	202,70	382,70
Junio	121,80	200,50	102,20	160,00
Julio	97,00	131,30	154,80	113,30
Agosto	107,00	265,90	151,40	32,90
Septiembre	372,20	197,50	238,20	175,90
Octubre	214,40	376,60	390,90	207,60
Noviembre	138,60	7,60	225,60	37,20
Diciembre	117,00	33,8	67,80	3,30
Total	1734,40	1766,30	1665,20	1261,40

Tabla No. 9 Comportamiento de la lluvia en los año 2001,2012,2013 y 2014.

Anexo II Comportamiento de las entrega realizadas en los años 2012, 2013 y 2014 desglosadas por organismos y por meses.

Tabla No. 9 Entregas realizadas en los años 2012, 2013 y 2014.

2012	Organismo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Acueducto	1,528	1,527	1,531	1,543	1,545	1,544	1,533	1,533	1,535	1,556	1,555	1,546
	Minagri	0,7374	0,7354	0,7464	0,8153	0,7733	0,8133	0,379	0,367	0,325	0,422	0,404	0,422
	Azcuba	0,0956	0,0966	0,0956	0,084	0,084	0,085	0,0836	0,0876	0,0866	0,0926	0,0996	0,0956
	Otros Usuarios	0,0651	0,067	0,065	0,0508	0,0528	0,0478	0,0324	0,0324	0,0344	0,0585	0,0585	0,0614
	Total	2,4261	2,426	2,438	2,4931	2,4551	2,4901	2,028	2,02	1,981	2,1291	2,1171	2,125
2013	Organismo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Acueducto	1,5076	1,5256	1,5386	1,56	1,572	1,573	1,536	1,559	2,1035	1,587	1,567	2,0545
	Minagri	0,697	0,71	0,722	0,406	0,416	0,414	0,3496	0,3526	0,6166	0,519	0,507	0,518
	Azcuba	0,059	0,06	0,058	0,053	0,054	0,05	0,045	0,046	0,044	0,047	0,048	0,047
	Otros Usuarios	0,05553	0,05653	0,06253	0,0416	0,0386	0,0426	0,0526	0,0566	0,0546	0,0403	0,0403	0,0403
	Total	2,31913	2,35213	2,38113	2,0606	2,0806	2,0796	1,9832	2,0142	2,8187	2,1933	2,1623	2,6598
2014	Organismo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Acueducto	1,415	1,287	1,556	1,374	1,385	2,089	1,6029	1,668	1,643	1,8299	1,872	1,846
	Minagri	0,672	0,526	0,544	0,518	0,429	0,443	0,3511	0,3586	0,3631	0,4133	0,4223	0,4233
	Azcuba	0,065	0,068	0,074	0,067	0,069	0,063	0,059	0,061	0,061	0,06	0,06	0,056
	Otros Usuarios	0,093	0,065	0,068	0,049	0,043	0,04	0,0506	0,0496	0,0506	0,0339	0,0346	0,0356
	Total	2,245	1,946	2,242	2,008	1,926	2,635	2,0636	2,1372	2,1177	2,3371	2,3889	2,3609

Anexo III Desglose de los datos de los niveles estáticos de los pozos de aforo en el sector hidrogeológico VC-I-1a.

Tabla No. 10 Datos de los valores de los niveles estáticos de los años 2001, 2012, 2013 y 2014.

	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2001	DS-34	6,78	7,15	7,42	7,71	7,41	7,59	7,70	7,73	7,67	6,28	6,65	6,89
	L-I-1	6,10	6,89	7,46	7,98	7,48	7,68	7,84	7,99	8,08	4,86	5,58	6,39
	Promedio	6,44	7,02	7,44	7,85	7,45	7,64	7,77	7,86	7,88	5,57	6,12	6,64
2002	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	DS-34	8,00	7,89	8,10	8,21	6,28	6,20	6,83	7,54	7,74	6,11	7,04	7,18
	L-I-1	8,10	8,28	8,73	9,03	5,23	5,92	6,38	6,23	6,59	4,26	6,46	6,27
	Promedio	8,05	8,09	8,42	8,62	5,76	6,06	6,61	6,89	7,17	5,19	6,75	6,73
2013	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	DS-34	8,54	7,79	8,12	8,37	8,21	8,37	7,70	7,57	6,61	5,94	5,84	6,87
	L-I-1	7,73	8,17	8,54	8,88	9,01	9,19	8,15	8,33	5,62	3,23	4,49	6,11
	Promedio	8,14	7,98	8,33	8,63	8,61	8,78	7,93	7,95	6,12	4,59	5,17	6,49
2014	Pozos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	DS-34	7,21	7,60	8,00	8,11	7,06	6,80	7,35	7,68	7,82	7,95	7,66	8,16
	L-I-1	7,00	7,59	8,13	8,57	7,07	5,80	7,08	7,81	8,08	7,82	7,84	8,27
	Promedio	7,11	7,60	8,07	8,34	7,07	6,30	7,22	7,75	7,95	7,89	7,75	8,22

Anexo IV Norma establecida para la elaboración del Balance de Agua en Cuba.

Tarea No 1:

Emisión del Calendario para la elaboración del Balance de Agua Anual.

- El primer paso para la elaboración del Balance de Agua lo constituye la emisión por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos del Calendario o Cronograma de Tareas, en correspondencia con las Directivas de la Planificación.
Para ello la Dirección de Obras Hidráulicas presenta la propuesta al Presidente del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, para su aprobación.
- El Presidente del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos aprueba y pone en vigor a través de una Resolución, el calendario para la elaboración del Balance de Agua correspondiente al próximo año, teniendo en cuenta los cronogramas establecidos por el Ministerio de Economía y Planificación para la presentación del plan de la Economía del país, enviando comunicación a los jefes de los Organismos de la Administración Central del Estado para su participación en la reunión de inicio del proceso.

Tarea No 2:

Reunión con los OACE de inicio del Proceso de Balance de Agua para el año.

- El INRH como parte del proceso de elaboración del Balance de Agua convoca a los OACE para emitir las indicaciones y premisas fundamentales vinculas al proceso.

Tarea No 3:

Presentación en cada provincia, de las demandas de agua por los usuarios a las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico y a las Empresas de Acueducto y Alcantarillado.

- Las entidades usuarias, a partir de las necesidades de agua de los planes de producción o de servicio, presentan y discuten con las Empresas de Aprovechamiento Hidráulicos y las empresas de Acueducto y Alcantarillado en su territorio de las demandas de agua por fuentes del modo de captación, argumentadas con el nivel de actividad previsto, y las normas de consumo de agua según los documentos oficialmente aprobados:

- Resolución 21/99 del Presidente del INRH, que pone en vigor las normas netas y eficiencias para el riego.
- Resolución 58/95 del presidente del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos que pone en vigencia con carácter permanente los índices de consumo para el sector de la economía no agrícola.
- Norma Ramal NR-AC-01 para la determinación de Agua Potable.

Los usuarios que reciben el servicio por las redes administrativas por Acueducto, presentarán la demanda a las Empresas de Acueducto.

- El proceso de captación de la demanda será supervisado por las Delegaciones Provinciales con el fin de asegurar que todos los usuarios entreguen las demandas en tiempo establecido y con calidad requerida, además de evaluar las argumentaciones presentadas, los consumos históricos por nivel de actividad, así como el rendimiento del agua entregada y el cumplimiento de las normas aprobada.
- La demanda se desglosará por fuentes, por actividades y por trimestre y se presentará en el modelo Demanda y Fundamentación del Consumo. Anexo 3

- Los usuarios se abastecen por medios propios (equipos de bombeo) de fuentes subterráneas o superficiales incluidos los embalses, desglosarán la demanda por equipos de bombeo.

La demanda debe ser presentada con carácter obligatorio por las CCS, UBPC, CPA, acueductos municipales y rurales y empresas estatales. Todo lo anterior para asegurar la participación del consumidor directo en el proceso de planificación.

Tendrá que considerarse a todos los usuarios independientemente del volumen de agua que estos demanden.

Para los Acueductos, solo se admitirán incrementos en las demandas con respecto al año anterior en los casos que se argumente por la puesta en marcha de una nueva inversión, avalado por el Delegado de Recursos Hidráulicos y que esta implique crecimiento de población beneficiada o impacto significativo en ciclo y tiempo medio de servicio. Además, la demanda de agua estará en correspondencia con las acciones de mejoras que se ejecutan en las fuentes, conducción y distribución del agua con la evaluación de los volúmenes que se ahorran por estos conceptos.

Tarea No 4:

Elaboración de la propuesta de Balance de Agua por las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico en cada provincia.

- Las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico revisan y analizan las demandas presentadas por las entidades usuarias, teniendo en cuenta los criterios técnicos(Anexo 1) y las premisas siguientes:
 - Probabilidad de precipitaciones y balance del año en curso.

- Argumentaciones de los incrementos o disminuciones sustanciales.
 - Los Consumos reales históricos en los últimos 5 años.
 - Los niveles de actividad.
 - Cumplimiento de las normas de consumo aprobadas.
 - Las acciones realizadas en los sistemas de las entidades usuarias en inversiones para mejorar eficiencia.
-
- El Delegado Provincial convoca a las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico, para precisar que la demanda contenga las cifras de las cuencas de carácter interprovincial, conciliando con los delegados de las provincias implicadas, para evitar cifras no balanceadas o duplicidad de las mismas. En caso de existir discrepancias, convocar a la Dirección de Obras Hidráulicas para la toma de decisiones teniendo en cuenta los intereses y prioridades del país.
 - Para el caso específico de las cuencas de abasto a la Capital, la conciliación de los territorios implicados se realizará de conjunto con la Dirección de Obras Hidráulicas y representantes de los Grupos Empresariales de Aprovechamiento Hidráulico y de Acueducto y Alcantarillado.
 - Las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico confeccionan la propuesta de Balance de Agua declarando como déficit solo aquellos volúmenes contenidos dentro de la norma de consumo según la actividad demandante que no puedan ser asumidos por la fuente o sistema balanceado.

Tarea No 5:

Elaboración del Balance en las cuencas de interés nacional.

- Las empresas de Aprovechamiento Hidráulico confeccionan la propuesta de Balance de Agua de interés nacional, tomando en cuenta las disponibilidades respectivas y las demandas presentadas por los usuarios, evaluando también de manera cualitativa la satisfacción o no de las necesidades y sus causas.

Tarea No 6:

Presentación de la propuesta de Balance de Agua en la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos y los Consejos de la Administración de las provincias de Artemisa y Mayabeque.

- Las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico presentan la propuesta de Balance de Agua a las Delegaciones Provinciales de Recursos Hidráulicos y los Consejos de la Administración de las provincias de Artemisa y Mayabeque, para su revisión, un vez conciliado con el Grupo Empresarial de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos.

Tarea No 7:

Inspección de control al estado de las tareas de Balance de Agua, en cada provincia.

- Los especialistas de las direcciones de Inspección Estatal y de Obras hidráulicas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y sus homólogos provinciales realizarán el control del estado de las tareas del Balance de Agua en cada Provincia.

Tarea No 8:

Compatibilización de las cifras de Balance de Agua por las Delegaciones Provinciales de Recursos Hidráulicos con los Consejos de Administración Provincial.

- El Delegado Provincial de Recursos Hidráulicos como parte del proceso de compatibilización del Plan, solicita al Gobierno Provincial la Reunión de conciliación de la propuesta de Balance de Agua donde participan además de los representantes de Recursos Hidráulicos, Las direcciones provinciales o territoriales de los usuarios. En esta reunión de trabajo se definirán las prioridades en caso de existir déficit en la actividad de riego y otros usos teniendo en cuenta los intereses del territorio. El acuerdo resultante de esta reunión se le incorpora al Balance como criterio del Gobierno en la Provincia, validando las cifras propuestas que serán presentadas a la Dirección de Obras Hidráulicas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Tarea No 9:

Presentación de las cifras globales a la dirección de Obras Hidráulicas.

- El Delegado Provincial de Recursos Hidráulicos enviará a la Dirección de Obras Hidráulicas las cifras globales demandas con su apertura por nivel de actividad y las asignaciones; destacando los casos que presentan déficit para cada actividad, según formato establecido. (Anexo 2).

Tarea No 10:

Reunión de Compatibilización de las cifras de Balance de Agua con los usuarios Nacionales.

- La Dirección de Obra Hidráulicas como parte del proceso de compatibilización del Plan, copilará un documento único con las cifras globales demandadas, así como su apertura por provincias y las asignaciones, para su presentación a usuarios nacionales.

Tarea No 11:

Emisión del cronograma de despachos por provincia para su análisis y discusión.

- La Dirección de Obras Hidráulicas emite el cronograma de despachos por provincias para el análisis y discusión de las cifras definitivas del Balance de Agua.

Tarea No 12:

Despachos con las provincias y representantes de los OACE para la presentación de la propuesta de Balance de Agua a la Dirección de Obras Hidráulicas.

- Con la participación conjunta de la Delegación y las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico, se presenta ante la dirección de Obras Hidráulicas, según cronograma, la propuesta de Balance de Agua para su análisis y discusión. En esta reunión de trabajo estarán presentes representantes del Grupo Empresarial de Aprovechamiento de los Recursos

Hidráulicos y del Grupo Empresarial de Acueducto y Alcantarillado, que asuman las decisiones que se adopten. Estarán presentes además, los representantes nacionales de los OACE y entidades nacionales independientes usuarias del agua para analizar las discrepancias que surjan los territorios en cuanto al aseguramiento de aguas a las diferentes actividades socioeconómicas.

Tarea No 13:

Entrega del Informe Ejecutivo de Balance de Agua a la Dirección de Obras Hidráulicas.

- El Delegado Provincial de Recursos Hidráulicos enviará a la Dirección de Obras Hidráulicas el informe ejecutivo del Balance de Agua.

Tarea No 14:

Elaboración del Informe Ejecutivo del Balance de Agua Nacional por la Dirección de Obras Hidráulicas.

- Los Especialistas de la Dirección de Obras Hidráulicas elaboran el Informe Ejecutivo, se adicionará al documento su apertura por las cuencas de interés nacional y lo presentan al Director de Obras Hidráulicas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, quien después de revisado y conciliando con la Dirección de Cuencas Hidrográficas e Hidrología, para su conocimiento y manejo por ésta, le presentan la propuesta de Balance de Agua al Presidente del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos para su aprobación.

Tarea No 15:

Aprobación de las cifras del Balance de Agua para el año que se planifica por el Presidente del INRH.

- El Presidente del INRH una vez revisado con la Dirección Obras Hidráulicas las cifras resultantes del Balance de Agua para el año, lo aprueba para su inclusión en el Plan de la Economía.

Tarea No 16:

Presentación al Ministerio de la Economía y Planificación de las cifras de Balance de Agua para para el año que se planifica.

- El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos presentan al Ministerio de Economía y Planificación las Cifras del Balance de Agua, desglosadas por organismos y actividades seleccionadas, para incluirlas en el Plan de la Economía del país y sean aprobadas definitivamente por el Consejo de Ministros.

Tarea No 17:

Firma de los contratos económicos para el servicio de provisión de agua y el derecho de uso.

- Las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico una vez aprobadas las cifras del Balance de Agua a los usuarios procederán a la firma de los contratos económicos para el servicio de provisión de agua y el Derecho de Uso.

Tarea No 18:

Desglose por trimestre de las cifras aprobadas del Balance de Agua por usuarios.

- A partir de las cifras aprobadas del Balance de Agua, las entidades usuarias procederán a desglosar por trimestres las mismas y las presentarán a las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico.

Tarea No 19:

Presentación del desglose trimestral de las cifras aprobadas del Balance de Agua a la Dirección de Obras Hidráulicas.

- El Delegado Provincial de Recursos Hidráulicos enviará a la Dirección de Obras Hidráulicas el desglose trimestral por usuarios de las cifras aprobadas en el Balance de Agua.