

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE
SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICO-HIDROELÉCTRICO**

**ESTUDIO DEL SISTEMA HIBRIDO FOTOVOLTAICO FLOTANTE E
HIDROELÉCTRICO EN LAS CUENCAS HÍDRICAS DEL PAÍS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

MANUEL DAVID MURILLO TAMAYO

manuel.murillo@epn.edu.ec

DIRECTOR: SANTIAGO DAVID VACA JIMENEZ

santiago.vaca@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Manuel David Murillo Tamayo declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



MANUEL DAVID MURILO TAMAYO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Manuel David Murillo Tamayo, bajo mi supervisión.



SANTIAGO DAVID VACA JIMENEZ
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponde al autor que ha contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

NOMBRE ESTUDIANTE



Manuel David Murillo Tamayo

NOMBRE DIRECTOR



Santiago David Vaca Jiménez

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios, y después y con justa razón a mis padres, Manuel e Isabel, quienes con sus buenos consejos me animaron y ayudaron a no desfallecer en este arduo camino que representa el seguir una carrera universitaria, a ellos que nunca me dejaron solo y siempre estuvieron presentes desde el inicio hasta este momento final de mi etapa como estudiante politécnico.

“Recibe sin orgullo, despréndete sin apego.”

MARCUS AURELIUS ANTONINUS- MARCO AURELIO

AGRADECIMIENTO

Agradezco además de a mis padres, a la Escuela Politécnica Nacional, universidad a la cual ingrese en busca de cumplir un anhelo, y de la que con el pasar del tiempo me he ido llevando más que conocimientos necesarios para la vida profesional, ya que también me ha ayudado a crecer personalmente, esto en parte a la mayoría de buenos profesores de los que tuve la dicha de aprender, y en especial a Santiago Vaca, mi tutor en este proyecto, quien con su sapiencia y paciencia me fue dando las pautas necesarias para poder llevar a cabo el presente trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACION	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
INDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 DESCRIPCION DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	1
1.4 Marco Teórico	2
1,4,1 Introducción	2
1,4,2 Electricidad en Ecuador	3
1,4,3 Sistema FPV	5
1,4,4 Ventajas del sistema FPV	8
1,4,5 Desafíos del sistema FPV	9
1,4,6 Evaporación y cuerpos de agua.....	10
2 METODOLOGÍA.....	11
2.1 Modelo para determinar la evaporación en superficies libres	13
2.1.1 Modelo de Penman modificado	13
2.2 Modelo para determinar la evaporación en superficies cubiertas	16
2.2.1 Modelo para evaporación en superficies cubiertas con FPV	16
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	18
3.1 Resultados	18
3.2 Discusión	23
3.3 Conclusiones	24
3.4 Recomendaciones	25
4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	27

5 ANEXOS	29
5.1 ANEXO I	29
5.2 ANEXO II	32
5.3 ANEXO III	85

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta una nueva manera de aprovechar la energía solar fotovoltaica, pero esta vez aplicada sobre los reservorios de las centrales hidroeléctricas que hay en el país, el uso de sistemas flotantes sobre el agua se propone como una manera de evitar pérdidas de agua en dichos cuerpos, para de esta manera optimizar los recursos hídricos disponibles en Ecuador. El fin de este trabajo es estimar la evaporación en las superficies tanto libres como cubiertas para posteriormente determinar la reducción en las pérdidas este innovador sistema puede ayudar a provocar sobre los cuerpos de agua antes mencionados.

Para esto se debe usar un modelo basado en la radiación solar, el mismo que es una base dentro del estudio del fenómeno de evaporación, el llamado modelo Penman modificado.

Una vez que se tienen los valores de la evaporación y por lo tanto la respectiva reducción de agua, se podrá a su vez estimar el volumen ahorrado, lo cual ayudará para medir el impacto que genera este sistema flotante.

PALABRAS CLAVE: reservorios, evaporación, volumen, FPV, Penman.

ABSTRACT

In this work, a new way of harnessing photovoltaic solar energy is presented, but this time applied to the reservoirs of hydroelectric power plants in the country. The use of floating systems on the water is proposed as a way to prevent water losses in these bodies, in order to optimize the available water resources in Ecuador. The aim of this work is to estimate the evaporation on both free and covered surfaces and subsequently determine the reduction in losses that this innovative system can help to bring about on the aforementioned bodies of water.

To do this, a model based on solar radiation must be used, which is a basis for studying the phenomenon of evaporation, called the modified Penman model, Once the values of evaporation and therefore the respective reduction in water are obtained, the saved volume can be estimated, which will help to measure the impact that this floating system generates.

KEYWORDS: reservoirs, evaporation, volume, FPV, Penman.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La aplicación y desarrollo del sistema en las superficies de agua se encuentra despuntando en el mundo, por esto se plantea un análisis para determinar cómo sería el comportamiento de estos sistemas, sobre todo para que contribuyan a reducir la evaporación en esas superficies al ser cubiertas con paneles fotovoltaicos.

Al realizar este estudio se analizará implementar este sistema en las cuencas hídricas del país, de resultar positivo el análisis sería un avance en la innovación sobre la generación de energía en Ecuador.

1.1 Objetivo general

Estudiar la complementariedad del sistema híbrido (fotovoltaico flotante e hidroeléctrico) en las cuencas hídricas del Ecuador con el fin de determinar la posible implementación de dicho sistema.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar la revisión bibliográfica correspondiente al sistema solar fotovoltaico flotante.
2. Inventariar las áreas inundadas de las represas, así como también determinar el recurso solar en las zonas de influencia de estas con el fin de seleccionar las presas que justifiquen la instalación del sistema.
3. Determinar la capacidad de generación fotovoltaica y adaptar el modelo FPV en los reservorios seleccionados.
4. Estimar la evaporación en los reservorios, así como su respectiva reducción y determinar la mejora en la generación.

1.3 Alcance

a) fase de planteamiento

La primera fase del proyecto está destinada a describir todo lo concerniente a información básica de los reservorios a ser estudiados.

b) fase de estimación

Se realizarán estimaciones en base a los datos recabados en la fase que antecede para poder tener noción de fenómenos como: reducción de la evaporación en los cuerpos de agua, reducción en la pérdida de agua en embalses, etc.

c) fase de evaluación

La última fase de evaluación de las estimaciones realizadas en la fase anterior servirá para concluir si es factible la implementación del sistema en los reservorios de las centrales hidroeléctricas del país, aquí se plantea también el cálculo de la cantidad de volumen ahorrado de agua producto de la reducción en la evaporación.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Introducción

Uno de los principales objetivos mundiales se centra en el desarrollo de energía alternativa mediante fuentes de energías renovables, de manera precisa lo dicho anteriormente está enmarcado dentro del objetivo 7 de los objetivos de desarrollo sostenible de Naciones Unidas. Dentro de este marco y según datos de la ONU la energía es el factor principal que contribuye al cambio climático y significa más o menos el 60% de todas las emisiones mundiales de GEI (gases de efecto invernadero) (UN, 2023).

Cuando se refiere a renovable se entiende que el concepto absorbe la esencia de este tipo de energía, definida por su disponibilidad en la naturaleza, su capacidad de regeneración continua sin necesidad de la intervención humana y por su presencia de manera espontánea y en cantidades inagotables (Enel Green Power, 2022).

Este tipo de energía que, si se compara con la producida por fuentes convencionales como: petróleo, carbon y gas, es capaz de reducir drásticamente los niveles de emisiones de las ciudades (Enel Green Power, 2022).

Producir cada vez más energía renovable y abandonar las fuentes convencionales es una necesidad compartida en el planeta. En el año 2019 la generación eléctrica en el mundo provino en su mayoría de:

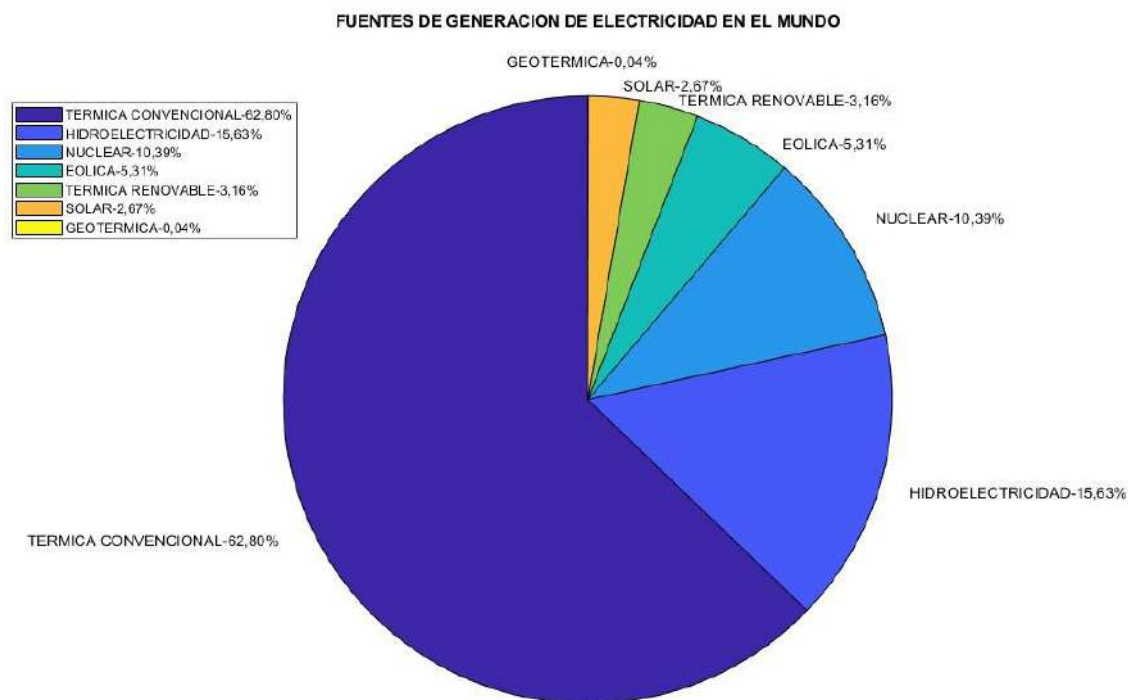


Figura 1.1 Fuentes de generación de electricidad en 2019.

Fuente: Propia

Se puede observar que en el mundo predomina la generación eléctrica mediante térmicas de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) con más del 60%, y que entre las demás fuentes renovables de generación (hidroelectricidad, solar, eólica, geotermia, térmica renovable) juntas suman en promedio un 26%.

Dentro de las mencionadas fuentes renovables que hoy en día están presentes, y por los datos presentados anteriormente, la hidroelectricidad, sigue siendo la mayor fuente de generación renovable de electricidad en el mundo con más de 1172 GW de capacidad instalada, llegando a representar más del 15% a nivel mundial (Enel Green Power, 2022).

Para el caso de la energía solar, la generación de electricidad con esta se ve limitada por las condiciones horarias, diarias y estacionales, este tipo de energía renovable genera en función de la irradiancia solar, la cual con un período de utilización de la radiación solar promedio de 8 a 10 horas por día dependiendo de la región y la temporada. En casos de horas nubladas y nocturnas, no se puede utilizar la energía solar.

1.4.2 Electricidad en Ecuador

Ahora hablando específicamente de la situación eléctrica en el Ecuador, la mayoría de la producción eléctrica proviene de centrales hidroeléctricas, más concretamente en el año

2021 un 80,1% de la generación eléctrica en el país provino de fuentes renovables (hidroelectricidad + otras renovables), mientras que un 18,8% provino de térmica convencional y un 1,1% de la interconexión eléctrica (Minas, 2022).

Según el último Balance Energético Nacional (BEN 2021), la generación de electricidad en el país fue de 32,571 GWh, la cual provino de distintas fuentes, como las siguientes:

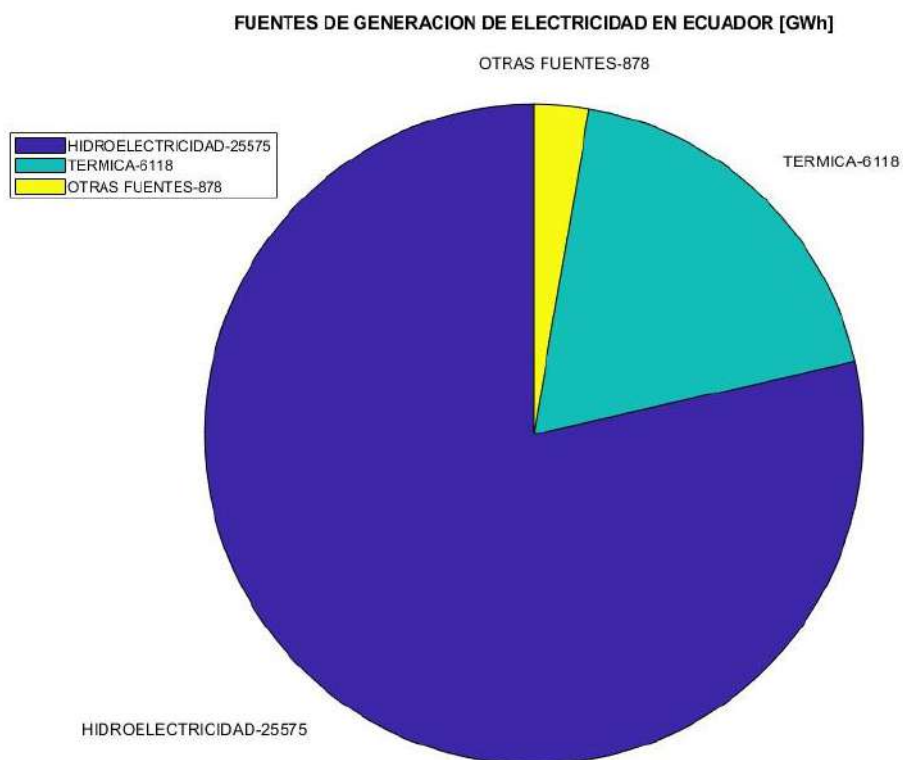


Figura 1.2 Fuentes de generación de electricidad en Ecuador 2021.

Fuente: Propia

Cuando la figura menciona a otras fuentes, esto se refiere a:

- Biomasa: 373 GWh
- Biogás: 42 GWh
- Eólica: 62 GWh
- Solar: 37 GWh
- Interconexión: 364 GWh

La figura 1.2 indica que la situación en el país es completamente diferente en cuanto a generación respecto al mundo, ya que como se explicó en un párrafo anterior, la

generación eléctrica de Ecuador proviene en más del 80% por fuentes renovables, dejando solo en margen del 18% la producción por fuentes fósiles.

Pero algo también de destacar en cuanto a la utilización energía solar, es que esta se encuentra poco desarrollada e implementada en el país, ya que solo se generaron en 2021, 37GWh de electricidad, representando esto tan solo el 0,1 % del total. Aun cuando el país cuenta con un gran potencial para el desarrollo de electricidad mediante esta fuente de energía. Esto también representa un desbalance respecto al promedio mundial de generación eléctrica por energía solar ya que esta fue en 2019 del 2,67%.

1.4.3 El sistema FPV

Floating Photovoltaic (FPV) es el termino para referirse a cualquier tipo de sistema de paneles fotovoltaicos instalados en masas de agua como: lagos, embalses, represas hidroeléctricas, estanques mineros, estanques industriales y de riego, estanques de tratamiento de agua, y lagunas costeras (SERIS, 2019).

Estos paneles fotovoltaicos suelen ser montados sobre una estructura flotante, las plataformas flotantes están ancladas y amarradas a un punto fijo de localización (SERIS, 2019).

Dentro del desarrollo de la energía solar fotovoltaica, la tecnología FPV tiene el potencial de convertirse en un tercer pilar en la aplicación de esta energía, complementando a la fotovoltaica en suelo y azoteas (SERIS, 2019).

Además de su ventaja natural de ahorrar superficie en tierra, los beneficios incluyen también aspectos como: mayor capacidad de potencia, mejora en cuestiones ambientales, beneficios económicos a largo plazo debido a una mayor participación en el mercado de la energía solar con sistemas flotantes, se prevé que para 2030 genere alrededor de 180 millones de dólares (Eco Green Energy, 2022). Todas estas ventajas mencionadas se ampliarán más adelante.

Como se planteó anteriormente, una solución a una de las limitantes del desarrollo de energía solar en tierra sería el sistema fotovoltaico flotante (FPV), esta solución podría ser estratégica, viable y factible. Esto debido a que explotar grandes superficies de agua como medio es ideal para gestionar una gran planta de módulos fotovoltaicos.

Algo que debe observarse es que dondequiera que haya asentamientos humanos construidos, el agua también está presente. El recurso hídrico se puede encontrar en una variedad de formas como: lagos, mares, grandes cuencas artificiales, tratamiento de aguas

residuales, cuencas hidroeléctricas, minas abandonadas, etc. Cualquier simple análisis puede determinar que las superficies de agua se encuentran disponibles en todas partes.

Incluso se pueden encontrar más teniendo en cuenta las pequeñas cuencas de riego y el agua de depósitos, es muy amplia la variedad de superficies acuáticas que pueden ser aptas para plantas FPV.

Bajo el concepto inicial de la hidroelectricidad y hablando netamente de la operación del sistema híbrido (fotovoltaico-hidroeléctrico) en todos los reservorios del mundo, estos tienen una capacidad de albergar más de 4400 GW mediante centrales fotovoltaicas cubriendo el 25% de la superficie de los embalses (Farfan & Breyer, 2018). La flexibilidad de los embalses ayuda a que la demanda de electricidad pueda ser cubierta mediante energía solar fotovoltaica (Farfan & Breyer, 2018).

En otros estudios se apunta a números un poco más conservadores en cuanto a generación de energía al cubrir la superficie de los embalses con paneles fotovoltaicos. El potencial de una FPV en algunas de las hidroeléctricas más grandes del mundo indica que cubriendo el 10% de las superficies de las cuencas la generación de energía aumentaría hasta en un 65% (Cazzaniga, Rosa-Clot, Rosa-Clot, & Tina, 2019).

El sistema híbrido ya se encuentra implantado en algunos países del mundo, especialmente la tecnología FPV ha ido ganando presencia desde mediados de la década pasada. Mientras la tecnología avanza esta irá disminuyendo de precio, es por esto que otros países empiezan a desarrollar el sistema en los distintos espacios hidrográficos, tanto en mar como en agua dulce. En la actualidad se encuentran proyectos en reservorios de hidroeléctricas, embalses, emplazamientos inundados, ríos, lagunas, cerca de costas y también en alta mar, en la siguiente tabla se observa una recopilación con veinte de las más grandes instalaciones, así como la capacidad instalada que tiene debido al sistema FPV (Roca, 2020).

Tabla 1.1 Listado de centrales con sistemas FPV alrededor del mundo,

Fuente: (Roca, 2020)

Nombre de la planta	Potencia [kW]	Año de operación	País	Continente
Guqiao Huainan	150000	2017	China	Asia
Anhui province	150000	2018	China	Asia

Xinji Huainan	102000	2017	China	Asia
Weishan Jining	100000	2018	China	Asia
Anhui Cecep	70005	2019	China	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	70000	2019	China	Asia
Huancheng Jining	50000	2018	China	Asia
Da Mi hydropower reservoir	47500	2019	Vietnam	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	40000	2016	China	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	32686	2017	China	Asia
Weishan Jining	31000	2018	China	Asia
Xinyi	20000	2016	China	Asia
Omega 1	17000	2019	Francia	Europa
Sekdoorn	14500	2019	Países Bajos	Europa
Yamakura Solar Power Plant	12744	2018	Japón	Asia
Thailand JA Solar	12500	2020	Tailandia	Asia
Pei County	9982	2017	China	Asia
Tynaarlo	8400	2019	Países Bajos	Asia
Agongdian Extension	7674	2018	Taiwán	Asia
Umenoki	7550	2015	Japón	Asia

Como se acaba observar en la tabla anterior, China es el país que lleva la delantera en la implantación de esta tecnología. La explicación de por qué China está desarrollando de manera acelerada esta tecnología puede estar en que el este de China es muy poblado por lo que hay poca tierra disponible, pero a su vez tiene cuerpos de agua abundantes, lo cual hace que se junten una necesidad y una solución a la vez para dicho país.

De manera similar a lo descrito en China, sucede en el sudeste asiático. Por todo esto se puede explicar por qué el sistema FPV tiene gran calado en dicho continente. En tanto que las plantas restantes que no se encuentran en dicho continente tienen su origen en Francia y Países Bajos.

Según estudios del Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS), la capacidad de FPV instalada en el mundo alcanzó más de 1,6 GW en 2019, lo que significa un aumento de más del 35% en comparación con 2018 (Roca, 2020).



Figura 1.1 Sistema FPV.

Fuente: (Iberf, 2019)

1.4.4 Ventajas del sistema FPV

Después de todo lo expuesto sobre la tecnología FPV se tiene diversas ventajas de esta que merecen una consideración aparte y detallada.

- No ocupación de suelo: La principal ventaja de la energía fotovoltaica ya sea flotante o sumergida es que no ocupan ningún terreno, excepto el de una pequeña área limítrofe al recurso hídrico necesario para un armario eléctrico. Las plantas FPV no solo son más económicas que las plantas terrestres, sino que son una forma

de evitar competir con zonas agrícolas o verdes. A diferencia de las plantas terrestres, las plantas flotantes reducen el impacto sobre el paisaje y la ocupación de la superficie (Rosa-Clot & Tina, 2018).

- Instalación y desmantelamiento: Este tipo de plantas son más consistentes que las de tierra ya que su gestión, instalación y desmantelamiento es más fácil. Algo a destacar es que no hay estructuras permanentes ya que el amarre de los sistemas flotantes se puede revertir, a diferencia de los cimientos que utiliza una planta en tierra (Rosa-Clot & Tina, 2018).
- Ahorro de agua y calidad del agua: La cobertura parcial de cuencas tiene beneficios como la reducción de la evaporación del agua. Este resultado depende de las condiciones climáticas y del porcentaje de superficie cubierta. En climas áridos esta es una ventaja importante ya que se puede ahorrar el 80% de la evaporación de la superficie cubierta, esto podría ser muy útil, especialmente si la cuenca se utiliza para riego (Rosa-Clot & Tina, 2018).
- Refrigeración y seguimiento: La estructura flotante permite el enfriamiento de un modo simple y económico, Las plantas fotovoltaicas pierden eficiencia durante la temporada de calor, En el caso de una FPV, este efecto se puede reducir sustancialmente mediante la refrigeración por agua (Rosa-Clot & Tina, 2018).
- Sistemas de almacenamiento, Una gran ventaja proviene de la posibilidad de integrar plantas FPV con sistemas de almacenamiento, el problema de la intermitencia y de apagones periódicos de la fuente de energía se puede resolver parcialmente mediante el uso de un enfoque de red inteligente (Rosa-Clot & Tina, 2018).
- Costo: El punto crucial para el desarrollo de una FPV es el costo final del kWh, estudios indican que el resultado es inferior al que se produce en una planta fotovoltaica terrestre. Y si se compara con otras fuentes de generación de electricidad como los combustibles fósiles, es obvio que en el presente todavía están en desventaja en cuanto a costo, pero la tendencia predice que para la década de los 30's el precio del MWh producido con carbón aumentará de \$70 a \$90 hasta 2035 y al mismo tiempo el precio del MWh producido con energía fotovoltaica caerá de \$90 a \$50 (Rosa-Clot & Tina, 2018).

1.4.5 Desafíos del sistema FPV

Al ser una tecnología que está despuntando, esta presenta desafíos a superar en los siguientes años mediante la investigación y el aprendizaje para que esto facilite su adopción en diversos lugares alrededor del mundo, se citaran algunos de los puntos en los que la tecnología tiene desafíos por delante.

- Gastos en capital: Los gastos para la tecnología FPV son todavía superiores o posiblemente similares a los de la fotovoltaica en tierra, esto debido principalmente a los gastos de los flotadores, del amarre y el fondeo, y por estrictos requisitos para los componentes eléctricos. Se espera que el costo de la flotación disminuya con el tiempo, pero para las economías de hoy en día sigue estando limitada por un número relativamente pequeño de capacidad instalada (SERIS, 2019).
- Anclaje y amarre: El anclaje debe estar diseñado para soportar la carga del viento, las olas y el potencial de las corrientes. En algunos casos, el sistema debe adaptarse a grandes fluctuaciones en los niveles de agua, en países con estaciones secas y húmedas (Ecuador). La profundidad del agua y el terreno del lecho acuático pueden plantear desafíos para la instalación y el mantenimiento del anclaje, todas estas consideraciones pueden volver a las soluciones más complicadas en comparación con la instalación en tierra, lo que se traduce en un aumento en el costo de un proyecto FPV (SERIS, 2019).
- Operación y mantenimiento: Comparativamente la operación y mantenimiento es más difícil de realizar en el agua que en tierra, problemas para acceder a los conjuntos fotovoltaicos se pueden presentar. El anclaje y los cables de amarre deben ser inspeccionados regularmente, esta actividad podría requerir de buceadores. El reemplazar piezas también es más complejo, y la seguridad de los trabajadores es una cuestión que debe ser atendida correctamente. En algunos proyectos FPV, se han presenciado pájaros y por medio de estos a sus excrementos, esto sobre todo en Reino Unido y Singapur, el proteger las instalaciones de las aves es posible, pero aumentaría los gastos de operación y mantenimiento (SERIS, 2019).

1.4.6 Evaporación y cuerpos de agua en Ecuador

El agua de la superficie de los embalses y centrales en su estado líquido y de entre los fenómenos o transformaciones que puede sufrir es el de evaporación.

La evaporación es un proceso en que el agua pasa de líquido a gas. En este proceso el agua en estado líquido entra a la atmósfera en forma de vapor, regresando de esta forma

a empezar de nuevo el ciclo del agua. Por estudios se sabe que los océanos, lagos, mares y ríos contribuyen con alrededor del 90% de humedad en la atmósfera por evaporación; el 10% restante viene de la transpiración en plantas (USGS, 2019).

Para que se produzca evaporación es necesario la interacción de energía (calor), que para este caso es la radiación. El proceso de evaporación utiliza el calor del ambiente para que el agua que se evapora por la piel durante sudoración pueda refrescar (USGS, 2019).

Para la optimización de este recurso natural dada su importancia en las actividades de generación de electricidad de la que es parte, es necesario estimar el fenómeno de evaporación. Como se verá más adelante existen métodos para estimar la evaporación que se produce sobre las superficies de agua, ya sean libres o cubiertas.

2 METODOLOGÍA

Mediante la aplicación del sistema FPV sobre las cuencas hídricas del país se realizará un estudio cuantitativo en el que se buscará la estimación de la evaporación con el fin de hacer una comparación sobre su reducción.

El enfoque en el que se desarrolla el trabajo son las diversas superficies de agua como son los reservorios de las centrales hidroeléctricas que hay en el país, como ejemplo general y como se observará en un código que se anexará se hace hincapié en la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. En la siguiente tabla se enlistan las superficies en las cuales se probará el modelo.

Tabla 2.1. Centrales hidroeléctricas del Ecuador,

Fuente: (Vaca-Jiménez, Gerbens-Leenes, & Nonhebel, 2019)

PRESA	UBICACIÓN				AREA DE LA PRESA [ha]
	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD [m]	PROVINCIA	
AGOYAN	-1.398	-78.381	1700	TUNGURAHUA	15.3
BABA	-0.673	-79.469	100	LOS RIOS	873.3
LORETO	-0.328	-78.145	3500	NAPO	56.2
MANDURIACU	0.215	-78.913	500	IMBABURA	80.5
MARCEL LANIADO	-0.929	-79.753	30	GUAYAS	29500
MAZAR	-2.593	-78.621	2100	MAZAR	736.6
PAUTE	-2.576	-78.51	1620	MORONA SANTIAGO	256
PUCARA	-1.079	-78.454	3110	TUNGURAHUA	0.3

SAUCAY	-2.755	-79.013	2800	AZUAY	126.7
ALAO	-1.812	-78.597	2800	CHIMBORAZO	0.2
AMBI	0.392	-78.154	1900	IMBABURA	0.1
ATUNTAQUI	0.338	-78.24	2240	IMBABURA	0.1
BUENOS AIRES 2012	0.618	-78.313	2200	IMBABURA	0.1
CALOPE	-0.994	-79.239	280	COTOPAXI	3
CARLOS MORA	-3.971	-79.064	1740	ZAMORA CHINCHIPE	0.3
CATAZACON	-1.204	-79.288	200	COTOPAXI	0.3
CENTRAL ALAZAN	-2.573	-78.657	2300	CAÑAR	0.8
CCS	-0.133	-77.455	1350	NAPO	230.2
CORAZON	-0.446	-78.763	1700	PICHINCHA	0.3
CUMBAYA	-0.186	-78.419	2200	PICHINCHA	0.3
DUE	0.023	-77.393	600	SUCUMBIOS	22.4
EL ESTADO	-0.885	-79.066	1100	COTOPAXI	0.1
ELECTROCORDOVA	0.265	-78.266	2500	IMBABURA	0.08
ESPEJO	0.614	-77.936	3120	CARCHI	0.1
FABRICA IMBABURA	0.348	-78.233	2200	IMBABURA	0.1
GEPERT	0.009	-78.157	2720	PICHINCHA	0.3
GUALACEO	-2.902	-78.742	2440	AZUAY	0.01
GUANGOPOLO	-0.261	-78.454	2400	PICHINCHA	0.5
HIDROABANICO	-2.263	-78.146	1200	MORONA SANTIAGO	1.7
HIDROCAROLINA	0.726	-78.216	1040	IMBABURA	0.04
HIDROSANBARTOLO	-2.724	-78.372	600	MORONA SANTIAGO	4
HIDROTAMBO	-1.957	-79.209	260	BOLIVAR	0.4
ILLUCHI 1	-0.919	-78.528	3360	COTOPAXI	0.1
ILLUCHI 2	-0.935	-78.547	3000	COTOPAXI	0.3
LA CALERA	-0.464	-78.551	2800	PICHINCHA	0.1
LA PLAYA	0.842	-77.706	2900	CARCHI	0.03
LOS CHILLOS	-0.375	-78.417	2700	PICHINCHA	0.05
NAYON	-0.163	-78.413	2200	PICHINCHA	0.5
NIZAG	-2.237	-78.84	2160	CHIMBORAZO	0.1
OCAÑA	-2.5	-79.247	480	CAÑAR	0.4
PAPALLACTA	-0.376	-78.145	3200	NAPO	1.4
PASOCHOA	-0.428	-78.481	3140	PICHINCHA	0.3
PENINSULA	-1.24	-78.603	2380	TUNGURAHUA	0.1
PERLABI	0.166	-78.437	1800	PICHINCHA	0.03
PLANTA CHIMBORAZO	-1.56	-78.807	3600	CHIMBORAZO	0.01
RIO BLANCO	-1.661	-78.54	3140	CHIMBORAZO	0.2
SAN FRANCISCO	-1.412	-78.244	1300	TUNGURAHUA	-
SAN MIGUEL DE CAR	0.804	-77.802	3000	CARCHI	0.2

SAYMIRIN	-2.800	-79.008	2800	AZUAY	0.2
SIBIMBE	-1.446	-79.361	100	LOS RIOS	1.2
SIGCHOS	-0.647	-78.904	2100	COTOPAXI	9.1
SILLUNCHI 1	-0.479	-78.544	2800	PICHINCHA	0.2
SILLUNCHI 2	-0.461	-78.55	2800	PICHINCHA	0.01
SOPLADORA	-2.607	-78.435	1000	MORONA SANTIAGO	-
TILIVI	-1.246	-78.744	3440	TUNGURAHUA	0.01
TOPO	-1.373	-78.215	1400	TUNGURAHUA	0.7
URAVIA	-0.072	-78.374	2000	PICHINCHA	0.1

2.1 Modelo para determinar la evaporación en superficies libres,

Para el cálculo de evaporación la literatura provee diversos métodos, algunos están basados en la radiación solar y otros que solamente dependen de la temperatura, Dentro de los métodos basados en la radiación solar está el de Penman, el mismo que será desarrollado de aquí en adelante.

2.1.1 Modelo de Penman modificado

Esta ecuación combina los enfoques de transferencia de masa y balance de energía, y elimina la necesidad de usar la temperatura superficial del agua para obtener la expresión de evaporación en aguas abiertas. Esta versión de la ecuación principal de Penman fue desarrollada por la oficina meteorológica de EE. UU, para estimar la evaporación del agua en un lago en función de la evaporación de las bandejas (Knook, 2016).

$$E = 0.7 \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a \right)$$

Ecuación 2.2. Modelo de Penman modificado.

Para usar la ecuación se deben realizar cálculos auxiliares para determinar variables como, los diversos componentes de la ecuación pueden ser calculados de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} = \left(1 + \frac{0.66}{(0.00815T_a + 0.8912)^7} \right)^{-1}$$

$$\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} = 1 - \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$$

Ecuación 2.3. Términos de la ecuación de Penman.

Aun cuando el software usado si provee los valores necesarios de radiación extraterrestre y radiación solar, estas variables se las puede calcular analíticamente, mediante las siguientes ecuaciones que proporciona la literatura revisada.

Para calcular la radiación neta efectiva, se requiere secuencialmente obtener componentes para desarrollar la ecuación de la radiación extraterrestre, y después de obtenida esta se podrá calcular la radiación solar, el paso final es usar la radiación solar para obtener la radiación neta efectiva. Como se dijo anteriormente tanto radiación extraterrestre como solar son provistas por el software de climatología, pero en el caso de solo disponer de valores de temperaturas, se puede hacer uso de las siguientes ecuaciones para obtener la radiación neta que es la variable importante en el desarrollo de Penman modificado.

Distancia relativa inversa Tierra-Sol.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right)$$

Ecuación 2.4. Distancia relativa inversa Tierra-Sol.

Declinación solar.

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1.39\right)$$

Ecuación 2.5. Declinación solar.

Angulo de la hora del atardecer.

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) \tan(\delta))$$

Ecuación 2.6. Angulo de la hora del atardecer.

Radiación extraterrestre

$$R_a = \frac{1440}{\pi} G_{sc} * d_r (\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s))$$

Ecuación 2.7. Radiación extraterrestre.

Número máximo de horas de sol.

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

Ecuación 2.8 Número máximo de horas de sol.

Radiación solar.

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

Ecuación 2.9. Radiación solar.

Para el caso del desarrollo del modelo se ha omitido el uso de las ecuaciones anteriormente descritas, empezando en la que sigue, para calcular la radiación neta efectiva con el dato de radiación solar y temperatura media que, si ofrece el software.

Radiación neta efectiva.

$$R_n = 0.0047R_s + 5.26 * 10^{-6}R_s(T_a + 17.8)^{1.87} + 2.94 * 10^{-6}R_s^2 - 2.39 * 10^{-9}R_s^2(T_a - 7.2)^2 - 1.02$$

Ecuación 2.10. Radiación neta efectiva.

El otro término importante de la ecuación de Penman es obtener la cantidad de evaporación de una bandeja Clase A, mediante las siguientes expresiones.

Evaporación para una bandeja clase A

$$E_a = (e_s - e_a)^{0.88}(0.42 + 0.0029U)$$

Ecuación 2,11, Evaporación de una bandeja clase A.

Diferencia entre la presión de vapor y la presión de vapor a temperatura del aire.

$$e_s - e_a = 33.86[(0.00738T_a + 0.8072)^8 - (0.00738T_d + 0.8072)^8]$$

Ecuación 2.12. Diferencia entre la presión de vapor y la presión de vapor a temperatura del aire.

Estos dos últimos términos, que en la ecuación 2.12, aparecen en conjunto, también pueden ser calculados por separado y sobre todo e_a , que servirá para futuros cálculos, por lo que también es conveniente formular sus propias expresiones.

Presión de vapor

$$e_s = 0.611e^{\left(\frac{17.27T_a}{T_a+237.3}\right)}$$

Ecuación 2.13 Presión de vapor.

Presión de vapor a la temperatura del aire

$$e_a = \left(\frac{RH}{100}\right) * e_s$$

Ecuación 2.14. Presión de vapor a la temperatura del aire.

2.2 Modelo para determinar la evaporación en superficies cubiertas,

2.2.1 Modelo para evaporación en superficies cubiertas con FPV

Según Scavo, Tina, Gagliano, & Nižetic, 2019, existen varias tipologías de sistemas FPV para ser implementados.

- Tipo A: El sistema FPV cubre completamente la superficie debajo del módulo.
- Tipo B: Módulos anclados al sistema de flotabilidad.
- Tipo C: Sistema FPV sobre la parte superior del canal.
- Tipo D: Sistema FPV flexible.

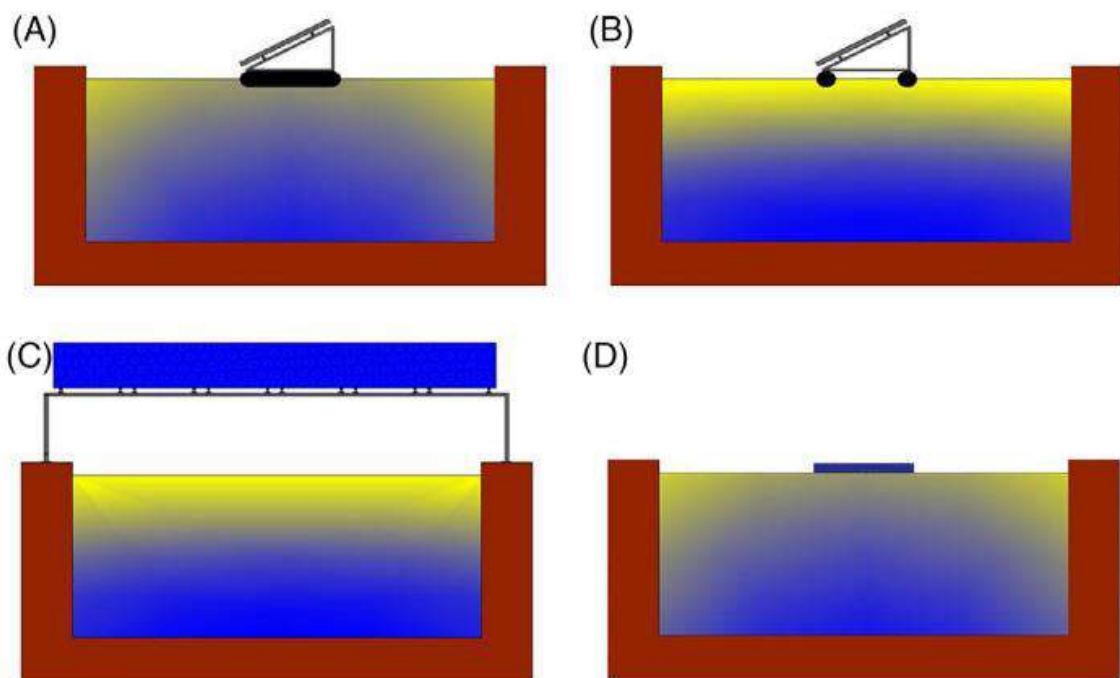


Figura 2.1 Tipología de los sistemas FPV.

Fuente: (Scavo, Tina, Gagliano, & Nižetic, 2019).

La configuración que puedan tener los paneles en las superficies de agua que serán cubiertas, influye en el modelo de evaporación a ser usado para la estimación.

En general la expresión que cuantifica la evaporación para superficies cubiertas con sistemas FPV para este trabajo es el tipo A, por lo cual se usaran las expresiones siguientes.

2.2.3. Evaporación total en sistemas A-D

Para sistemas tipo A-D, se usarán las siguientes expresiones:

$$Q_{AD}^* = SW_{AD} + LW_{AD}$$

Ecuación 2,13, Radiación neta.

$$SW_A = 0$$

Ecuación 2,15, Radiación de onda corta para sistema A.

$$LW_{AD} = \sigma T_a^4 (0.56 - 0.0092 \sqrt{e_a}) (0.1)$$

Ecuación 2,16, Radiación de onda larga para sistemas A-D.

$$Q^* = R_n (1 - x) + Q_{AD}^*(x)$$

Ecuación 2,17, Radiación total.

Esta última ecuación es clave, porque esta nueva radiación efectiva que se obtiene es la que a su vez debe ser usada en la ecuación de Penman modificado (ecuación 2.2) para obtener la $E_{cubierta}$ que se necesita en la siguiente expresión,

$$E_{AD} = (1 - x) * E_{cubierta}$$

Ecuación 2,18, Evaporación total en sistemas A-D.

Cabe destacar que algunas ecuaciones de las aquí mostradas fueron adaptadas a la nomenclatura que se ha usado para explicar el modelo, esto con el fin de uniformar a las expresiones a ser usadas para el desarrollo del modelo de evaporación.

Aparte de las ecuaciones que se describieron anteriormente, fue necesario el apoyo de software de climatología, en especial el NASA DATA POWER (NASA, 2022), Para encontrar los datos exactos sobre cada superficie hidrográfica se usa su respectiva ubicación geográfica, la misma que viene dada por latitud y longitud del lugar (en sistema decimal), las mismas que también se encuentran detalladas en la tabla de las centrales. con esto se puede acceder a una base de datos en las que se encuentran variables como: temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima, velocidad del viento, humedad relativa, etc.

Todos los datos tienen como referencia al año calendario 2021.

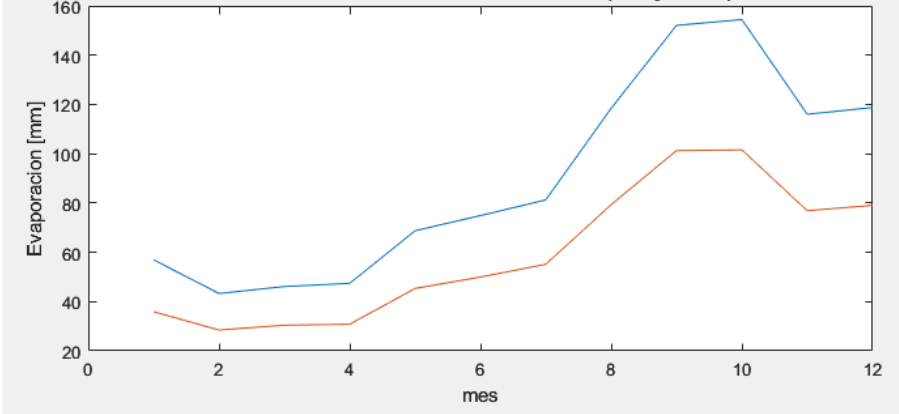
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

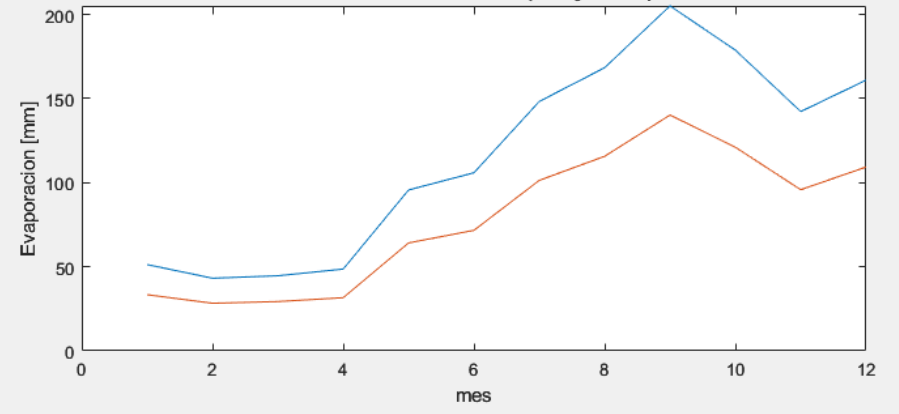
Como resultados se presentarán gráficas de el volumen de agua que se ahorraría con la superficie cubierta de los espacios hidrográficos al 30% de su superficie total, En otra grafica de barras se presentará la relación que tiene este volumen ahorrado con la potencia nominal de cada represa.

De acuerdo con el tamaño de la presa se ha escogido cuatro principales sobre las cuales se trabajará con el tipo de graficas antes mencionado, Para un apéndice se deja las gráficas de las demás presas que tiene el país, Estas represas escogidas son: COCA CODO SINCLAIR, MAZAR, PAUTE, MARCEL LANIADO, Para mejor visualización se presenta en una siguiente hoja y en orientación horizontal.

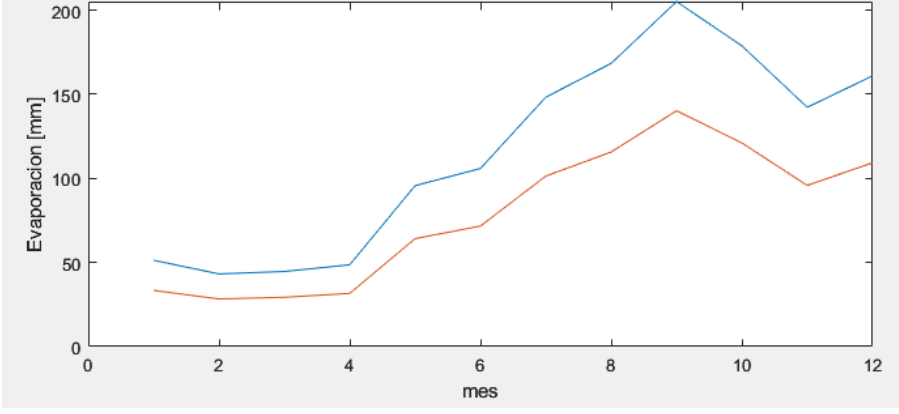
COMPARACION DE EVAPORACION EN COCA CODO SINCLAIR (Con y sin superficie cubierta al 30%)



COMPARACION DE EVAPORACION EN MAZAR (Con y sin superficie cubierta al 30%)



COMPARACION DE EVAPORACION EN PAUTE (Con y sin superficie cubierta al 30%)



COMPARACION DE EVAPORACION EN MARCEL LANIADO (Con y sin superficie cubierta al 30%)

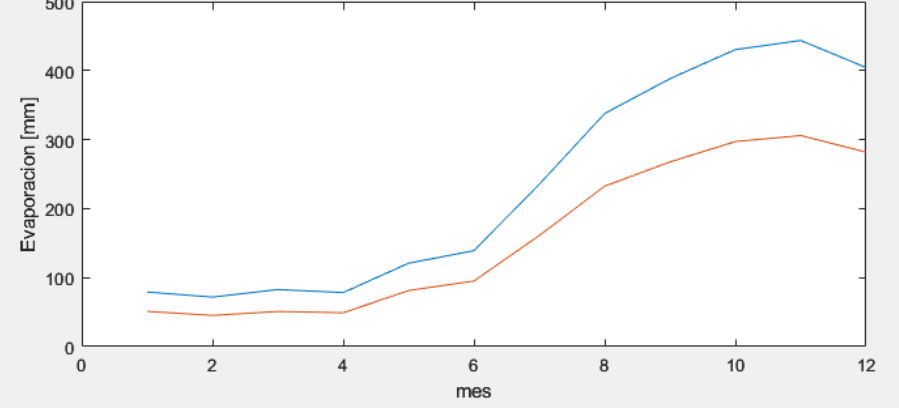


Figura 3.1 Comparación de evaporación en las centrales seleccionadas.

Fuente: Propia.

El tener la evaporación sin superficie cubierta (azul) y la estimada con superficie cubierta al 30% (naranja) en una misma grafica para las cuatro centrales analizadas permite una comparación visual entre los resultados obtenidos.

Fácilmente se detecta que en las cuatro centrales los meses valle coinciden, es decir, la evaporación es baja entre enero y abril, pero en cambio los meses pico de evaporación si varían de central a central, así se tiene que en Coca Codo Sinclair la evaporación máxima es en el mes de octubre, para Mazar y Paute debido a su cercanía geográfica la evaporación máxima es en septiembre, y en Marcel Laniado el pico se produce en noviembre.

Después de mostrar la comparación de evaporación se mostrará el volumen ahorrado al aplicar el sistema FPV sobre el 30% de la superficie de agua en las centrales: COCA CODO SINCLAIR, PAUTE Y MAZAR.

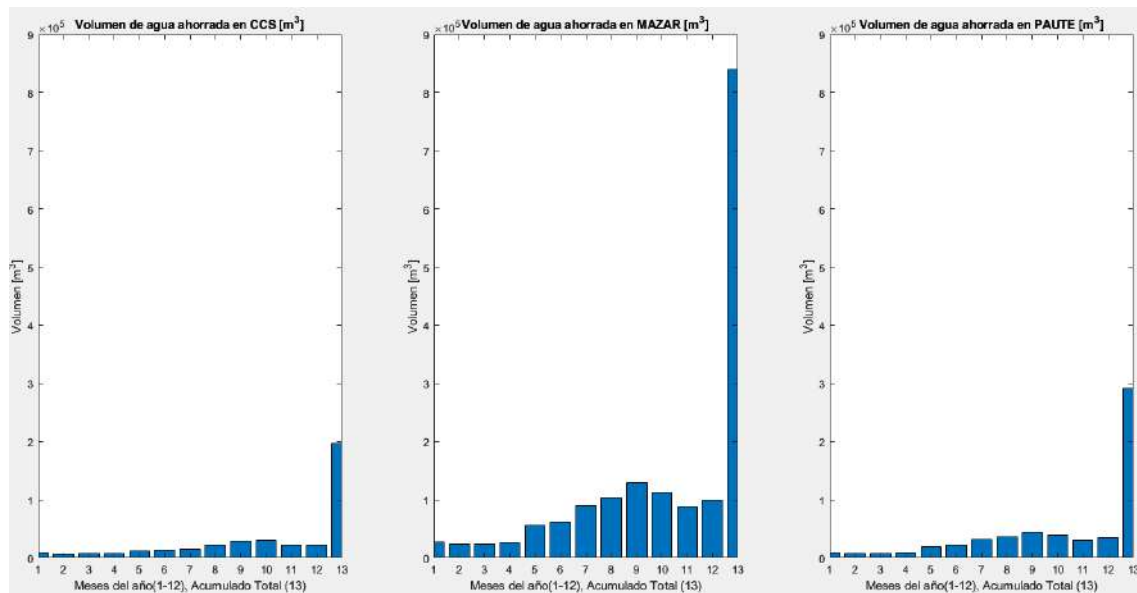


Figura 3.2 Volumen de agua ahorrada en las tres presas.

Fuente: Propia.

En la siguiente grafica se presenta el mismo resultado, pero para MARCEL LANIADO, el motivo de no presentar esta grafica junto a las tres anteriores es debido a que en esta ultima los resultados son desproporcionados en comparación con los obtenidos en las tres centrales anteriores, por lo que incluir esta grafica junto a las demás hubiera distorsionado la representación de resultados.

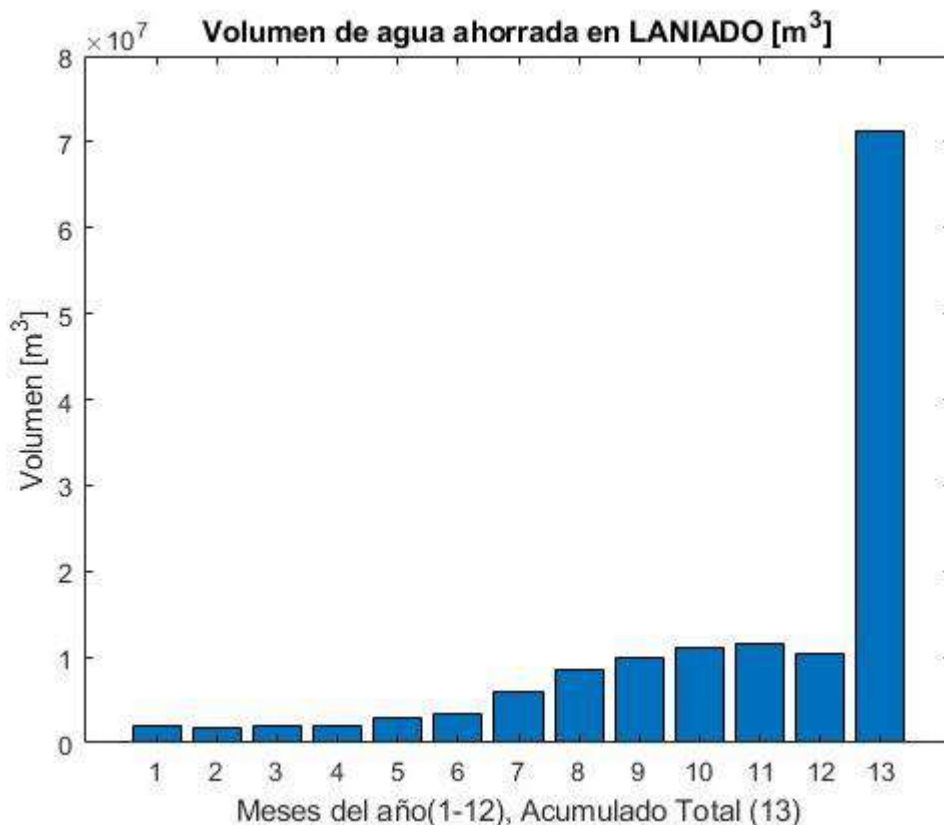


Figura 3.3 Volumen de agua ahorrada en MARCEL LANIADO.

Fuente: Propia.

La figura 3,3 es similar a la anterior, la diferencia radica en que se divide el volumen ahorrado con la potencia nominal de cada presa.

- COCA CODO SINCLAIR: 1500 [MW]
- MAZAR: 170 [MW]
- PAUTE: 1075 [MW]
- MARCEL LANIADO: 213 [MW]

Las siguientes graficas siguen el mismo patrón que las anteriores que se referían al volumen ahorrado, es decir, se presentaran dos graficas en las que se agrupan en primer lugar a las centrales, COCA CODO SINCLAIR, MAZAR, PAUTE, y se deja en una sola grafica a MARCEL LANIADO.

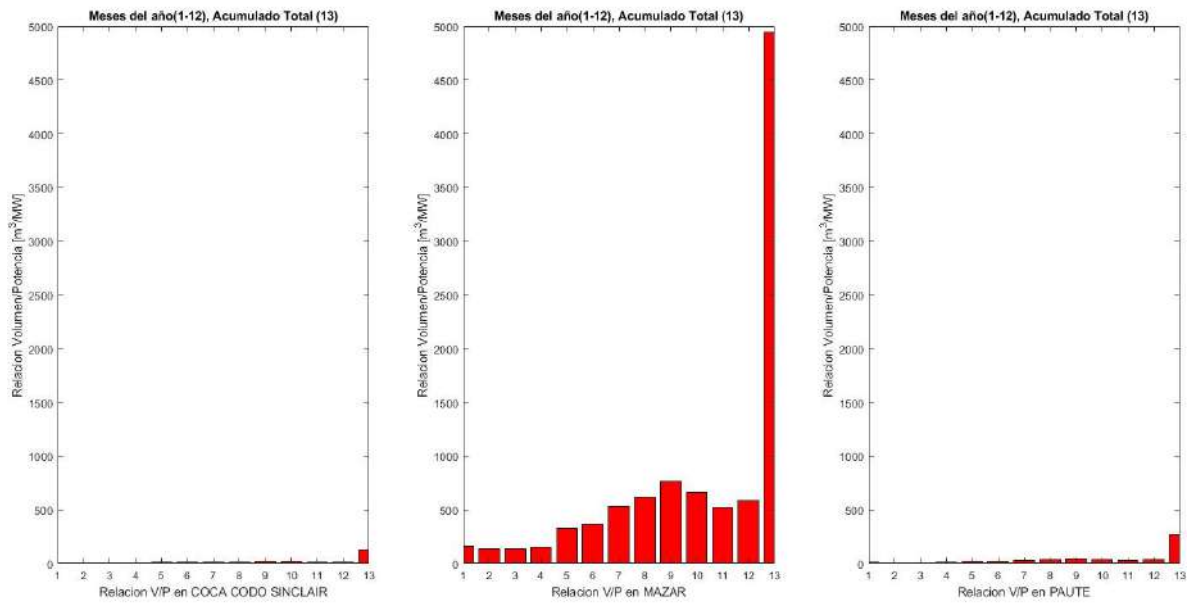


Figura 3.4 Relación volumen y potencia nominal de las tres presas.

Fuente: Propia.

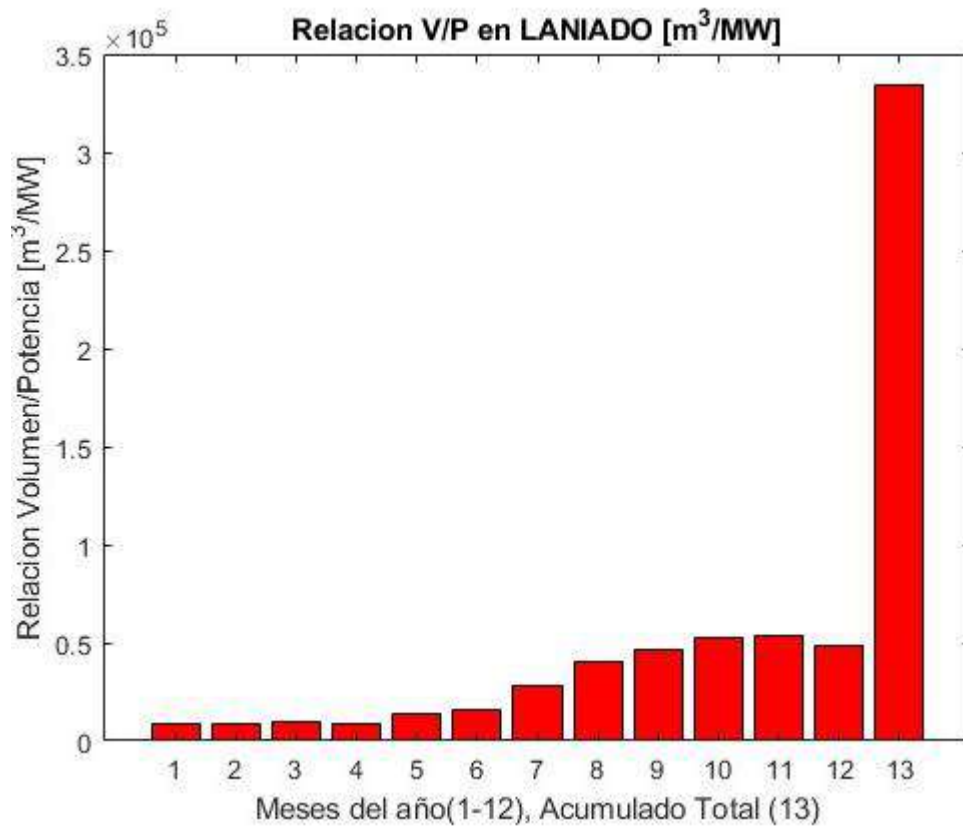


Figura 3.5 Relación volumen y potencia nominal en MARCEL LANIADO.

Fuente: Propia.

3.2 Discusión

En este caso, se planteará comparar el volumen obtenido con la cantidad estimada del consumo de agua potable en el Distrito Metropolitano de Quito. Los datos indican que un habitante en promedio consume 200 litros de agua al día, cifra que es muy elevada teniendo en cuenta que el consumo diario debería estar alrededor de los 120 litros, incluso en algunas zonas de la ciudad esta cantidad puede duplicarse.

Según una proyección poblacional del INEC al año 2020, en el DMQ viven aproximadamente 2'781,641 personas. Con este último dato se puede obtener un aproximado de cuanto es el consumo anual de agua potable, así se tiene que la cifra es de alrededor de 203'059,793 m^3 . Esta es una cifra referencial pues, la población del DMQ aumenta aproximadamente un 1,6% por año y el consumo también puede aumentar debido a diferentes factores como: clima caluroso, temporada de vacaciones, etc.

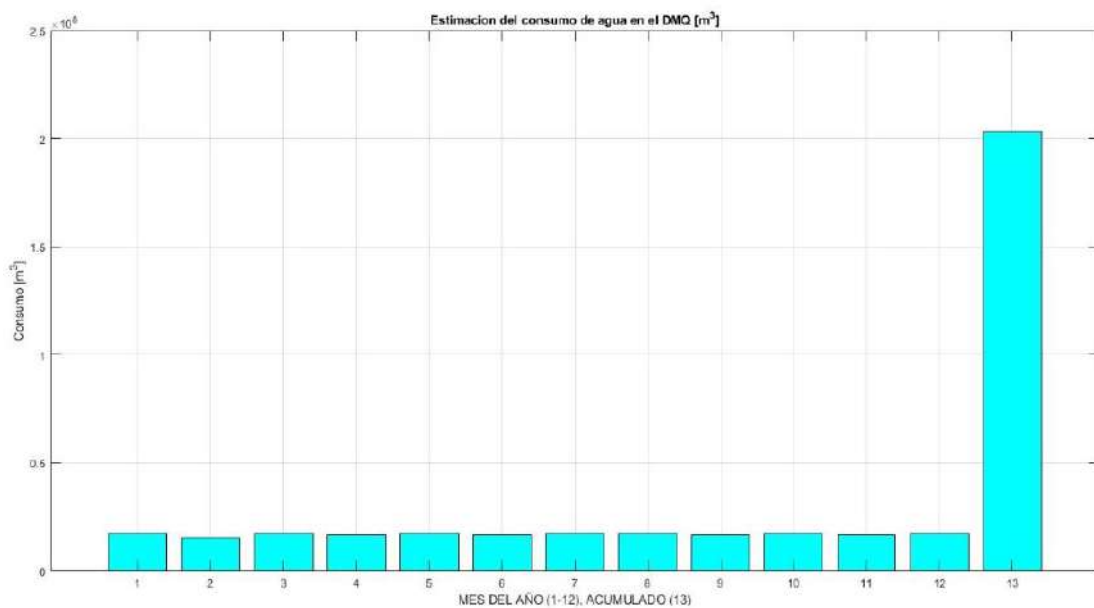


Figura 3.6 Consumo estimado anual y acumulado de agua potable en el DMQ.

Fuente: Propia.

Esta última cifra del consumo anual servirá como base para ir calculando el porcentaje que representaría el volumen de agua ahorrado en las centrales respecto al consumo total en el DMQ. Para esto se ejemplificará el consumo de agua de algunas parroquias del DMQ para equiparar con el volumen de agua que se ahorra por reducción de evaporación.

Para el caso de Coca Codo Sinclair se tiene un volumen acumulado de 196990 m^3 , que vendría a equivaler el 0,097% del consumo total del DMQ.

Para Mazar, se tiene un volumen acumulado de 840410 m^3 , esto equivale al 0,41% del consumo total.

En la represa de Paute se estimó un volumen ahorrado anual de $291,220 \text{ m}^3$, esto viene a representar el 0,14% del consumo total.

En el último caso se tiene a la represa de Marcel Laniado, esta presenta un volumen bastante desproporcionado respecto a las 3 presas anteriores, debido a que el área de la presa respecto a la presa más cercana (Mazar) es 25 veces mayor, por eso en Marcel Laniado hay un estimado del volumen ahorrado de $71'208000 \text{ m}^3$, este gran volumen de agua representa alrededor del 35 % del consumo total de agua potable en el DMQ.

Con el volumen de agua ahorrado en Paute (0,14 % del total) se podría dotar de líquido vital a Calacali, con el volumen de Mazar (0,41% del total) a Llano Chico, con el de Coca Codo Sinclair (0,097% del total) a Gualea, y finalmente con el gran volumen de Marcel Laniado (35% del total) a gran parte de las parroquias urbanas del Norte de Quito.

Para poder encontrar estos resultados, en el transcurso del desarrollo del trabajo se presentaron algunas limitaciones que no estaban previstas al inicio, por ejemplo la recolección de datos fue ardua debido a que se tenía que encontrar un software que contara con todas las variables necesarias, posteriormente estos datos debían ser procesados en una hoja de Excel para que estén disponibles para los cálculos de Matlab, algo importante también a destacar en esta parte es elegir el modelo de evaporación debido a que la literatura proveía métodos como Caprio, Irmak, McGuinees-Bordne, Ritchie, Jensen-Haise, Turc, Turc modificado, Makkink y Priestley-Taylor, todos los modelos citados están basados en la radiación solar, por último están los modelos de Hargreaves, Blaney-Criddle, Thornthwaite y Baier-Robertson que son basados en la temperatura. Dicho lo anterior se tuvo que elegir el método de estimación de la evaporación más apropiado y este fue el de Penman modificado, este último método varía según la bibliografía consultada, por lo que hubo decantarse por el que se explica en la ecuación 2.2, más detalles de las limitaciones se verán en recomendaciones.

3.3 Conclusiones

Del presente trabajo se ha podido establecer las siguientes conclusiones.

- Si se analiza el porcentaje de reducción de evaporación se encontrará que en promedio por año en las cuatro centrales estudiadas los valores resultantes son los siguientes: Coca Codo Sinclair el valor fue del 33,96%, en Paute y Mazar la reducción es de 32,96%, y finalmente en Marcel Laniado la disminución en

evaporación es de 33,24%; al cubrir las superficies de los reservorios de estas centrales a una capacidad del 30%.

- De las cuatro centrales seleccionadas se puede decir que sus picos en cuanto a evaporación se refieren, los mínimos se encuentran relativamente entre los meses de enero a abril, en tanto que, para los picos máximos, estos ya difieren por cada central, para Coca Codo Sinclair el pico se da en octubre, en Mazar y Paute se da en septiembre y en la central de Marcel Laniado en noviembre.
- Para las demás centrales, los picos igualmente varían, en especial el pico máximo, en general los mínimos igual que en las cuatro centrales anteriores se dan en los mismos meses. De las 53 centrales restantes, casi el 2/3 alcanzan su pico máximo en el mes de septiembre, y el 1/3 restante en octubre.
- Aun cuando según lo que muestran las gráficas, hay gran cantidad evaporación evitada por la aplicación de paneles FPV, esto no es lo único que sirve para determinar el ahorro volumétrico que pudiera ayudar a generar, es por esto que se debe tener en cuenta también a la superficie del reservorio en la que se puedan aplicar los módulos FPV, mientras más grande sea el área, más volumen de agua se ahorrará, Marcel Laniado es la que dispone del reservorio más grande de entre todas las centrales con 29500 hectáreas, en su contraparte hay centrales con reservorios pequeños en el orden de 0,01 hectáreas como: Gualaceo, Tilivi y Planta Chimborazo.
- Viendo la situación actual en la que se encuentra la generación de electricidad en el país, y sabiendo que gran parte de esta generación proviene de las centrales hidroeléctricas y que en los últimos meses producto de un gran estiaje la producción ha caído, sería de gran ayuda que se pueda implementar el aplicar el modelo FPV sobre las superficies de los reservorios en las cuencas hidrográficas del Ecuador, para de esta manera disminuir la pérdida de nivel de agua debido a la evaporación, y que la producción de electricidad en las centrales no decaiga hasta el punto de tener que importar energía o usar antiguas barcazas que usan combustibles fósiles para obtener la electricidad que el país demanda.

3.4 Recomendaciones

Se indican las siguientes recomendaciones, sobre aspectos que se encontraron en el desarrollo del trabajo, o de pautas para entender de mejor manera lo que aquí se ha desarrollado.

- Cuando se observen las gráficas de comparación de evaporación en la sección de anexos para las centrales restantes, se observarán que algunas de estas gráficas se parecen, esto tiene su explicación es que, debido a la cercanía geográfica de diversas centrales, el software que proporciona los datos meteorológicos los repite, Para las gráficas de barras del volumen ahorrado no ocurre esto debido a que cada central tiene una determinada superficie de reservorio sobre la cual se realizó el estudio.
- Otra consideración por tomar en cuenta al observar las gráficas del anexo es que algunos solo presentan la gráfica de comparación de evaporación, esto se debe principalmente a que no se encontró en la literatura la superficie de los reservorios, esto es fundamental para poder calcular el respectivo volumen, esto sucede en las centrales: San Francisco y Sopladora.
- En el anexo también se mostrará una nomenclatura para resumir de una forma más clara las variables que intervienen en las ecuaciones que sirvieron de base para el desarrollo del modelo, esto también ira acompañado de las respectivas unidades para dichas variables, siempre que el caso lo amerite.
- Toda la información base de las centrales hidroeléctricas fue tomada de la Tabla 2.1, con su respectiva fuente citada, pero además se le añadieron columnas extras para detallar aún más su respectiva ubicación geográfica aparte de la proporcionada por latitud y longitud, es decir en la tabla se puede observar datos de altitud y también de la provincia en la que se encuentran las centrales estudiadas en este trabajo.
- Para este estudio fue necesario contar con el programa Matlab para acelerar los cálculos de estimación de evaporación necesarios, se hizo un modelo patrón que después de ser perfeccionado, lo único que se iba variando en el mismo era la central hidroeléctrica para analizar, claro que para cualquier cálculo se debió cargar previamente en una carpeta respectiva del programa los datos meteorológicos en una hoja de Excel.
- Dentro del mencionado código que se utilizó están diversas consideraciones que se tomaron, de acuerdo con la bibliografía consultada sobre el desarrollo de la Ecuación de Penman modificado, era necesario ajustar ciertas variables a las unidades necesarias, por lo que recurre a diversos factores de conversión, esto se da sobre todo en variables como la radiación solar y la velocidad del viento.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cazzaniga, R., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., & Tina, G, (2019), Integration of PV floating with hydroelectric power plants., *Heliyon*, 1-8.
- Eco Green Energy, (27 de Diciembre de 2022), *Aplicaciones Solares en Tendencia: Solar Flotante*, Obtenido de <https://www.eco-greenenergy.com/es/aplicaciones-solares-de-tendencia-flotante/>
- Enel Green Power, (2022), *Energías renovables*, Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables>
- Enel Green Power, (2022), *La energía hidroeléctrica*, Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica>
- Farfan, J., & Breyer, C, (2018), Combining Floating Solar Photovoltaic Power Plants and Hydropower Reservoirs: A Virtual Battery of Great Global Potential, *Energy Procedia*, 403-411.
- Iberf, (17 de Enero de 2019), *Evitar la evaporación en embalses*, Obtenido de <https://agro,iberf,es/evitar-evaporacion-embalses/>
- Knook, L, (2016), *The water footprint related to reservoir operation on a global scale*, Enschede: University of Twente.
- Landatusolar, (2022), *Las 4 ventajas de la energía solar flotante*, Obtenido de <https://landatusolar.com/4-ventajas-energia-solar-flotante/>
- Minas, M, d, (2022), *ECUADOR CONSOLIDA LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES*, Obtenido de <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
- NASA, (2022), *POWER DATA ACCESS VIEWER*, Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Roca, J, (3 de Julio de 2020), *Las 20 mayores plantas de fotovoltaica flotante del mundo*, Obtenido de El periodico de la energia: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-20-mayores-plantas-de-fotovoltaica-flotante-del-mundo/>
- Rosa-Clot, M., & Tina, G, (2018), *SUBMERGED AND FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS*, Londres: Elsevier.

- Scavo, F, B., Tina, G, M., Gagliano, A., & Nižetic, S, (2019), An assessment study of evaporation rate models on a water basin with floating photovoltaic plants, *International Journal of Energy Research*, 167-188.
- SERIS, (2019), *Where Sun Meets Water FLOATING SOLAR MARKET REPORT*, Washington DC: The World Bank.
- USGS, (12 de Octubre de 2019), *Water Science School*, Obtenido de El Ciclo Natural del Agua, The Natural Water Cycle, Spanish: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/el-ciclo-natural-del-agua-natural-water-cycle-spanish#:~:text=La%20evaporaci%C3%B3n%20es%20el%20principal,regresando%20al%20ciclo%20del%20agua>.
- UN, (2023), *Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna*, Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Vaca-Jiménez, S., Gerbens-Leenes, P., & Nonhebel, S, (2019), The water footprint of electricity in Ecuador: Technology and fuel variation indicate pathways towards water-efficient electricity mixes, *Water Resources and Industry*.

5 ANEXOS

ANEXO I. Nomenclatura.

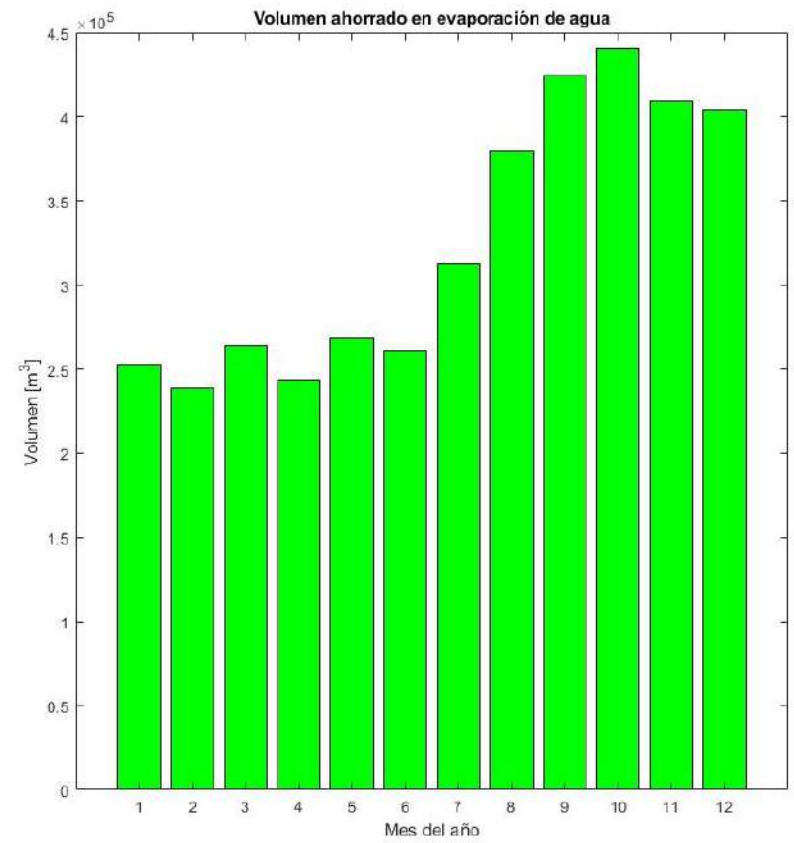
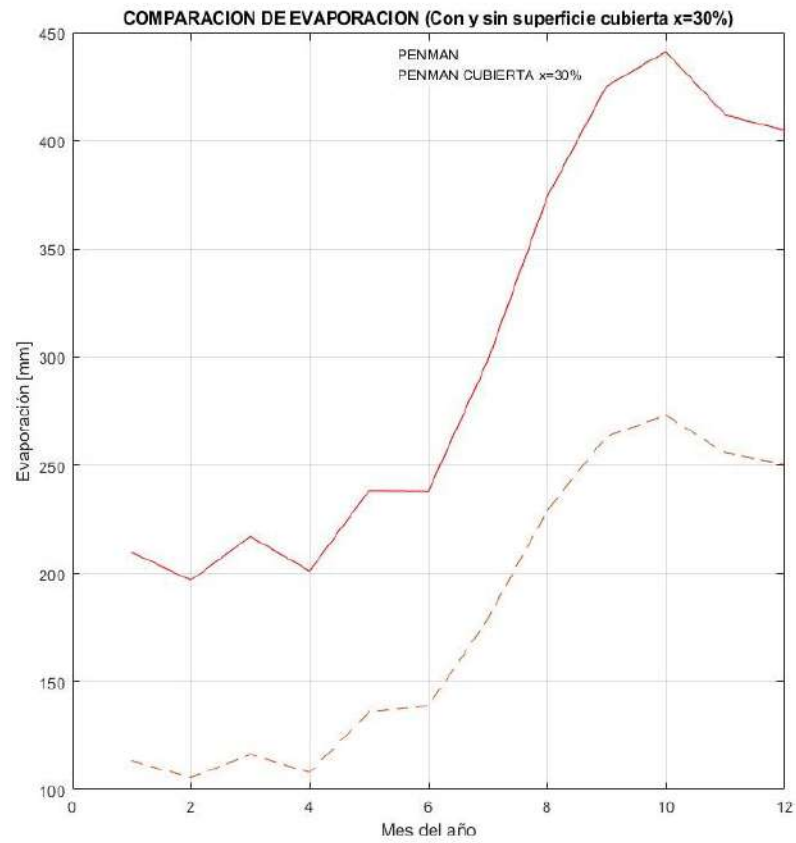
<i>Variable</i>	<i>Descripcion</i>	<i>Unidad</i>
E	<i>Evaporación Penman modificado</i>	<i>mm/dia</i>
Δ	<i>Pendiente de la curva de presion de vapor de saturacion</i>	<i>kPa/°C</i>
γ	<i>Constante psicrometrica</i>	<i>kPa/°C</i>
J	<i>Dia Juliano [1 – 365]</i>	<i>N/A</i>
ω_s	<i>Angulo de la hora al atardecer</i>	<i>rad</i>
d_r	<i>Distancia relativa inversa Tierra – Sol</i>	<i>N/A</i>
δ	<i>Angulo de declinacion solar</i>	<i>rad</i>
R_a	<i>Radiación extraterrestre</i>	$\frac{MJ}{m^2 * dia}$
φ	<i>Latitud</i>	<i>rad</i>
G_{sc}	<i>Constante solar</i>	$\frac{MJ}{m^2 * dia}$
N	<i>Numero máximo de horas de sol</i>	<i>h</i>
R_s	<i>Radiación solar</i>	$\frac{MJ}{m^2 * dia}$

n	<i>Duración actual de horas de sol</i>	h
$a_s + b_s$	<i>Fracción de radiación extraterrestre</i>	N/A
R_n	<i>Radiación neta</i>	$\frac{MJ}{m^2 * dia}$
$T_a, T_{min}, T_{max}, T_d$	<i>Temperatura promedio del aire, Temperatura maxima. Temperatura minima, Temperatura de rocío</i>	$^{\circ}C$
U	<i>Velocidad del viento a 2 metros</i>	m/s
RH	<i>Humedad relativa</i>	N/A
E_a	<i>Evaporación de bandeja clase A</i>	mm/dia
e_s	<i>Presión actual de vapor</i>	kPa
e_a	<i>Presión de saturación de vapor</i>	kPa
SW_A	<i>Radiación de onda corta modulo A</i>	$\frac{MJ}{m^2 * dia}$
LW_{AD}	<i>Radiación de onda larga, tanto para modulo A como D</i>	$\frac{MJ}{m^2 * dia}$
σ	<i>Constante de Boltzmann</i>	$\frac{MJ}{K^4 * m^2 * dia}$

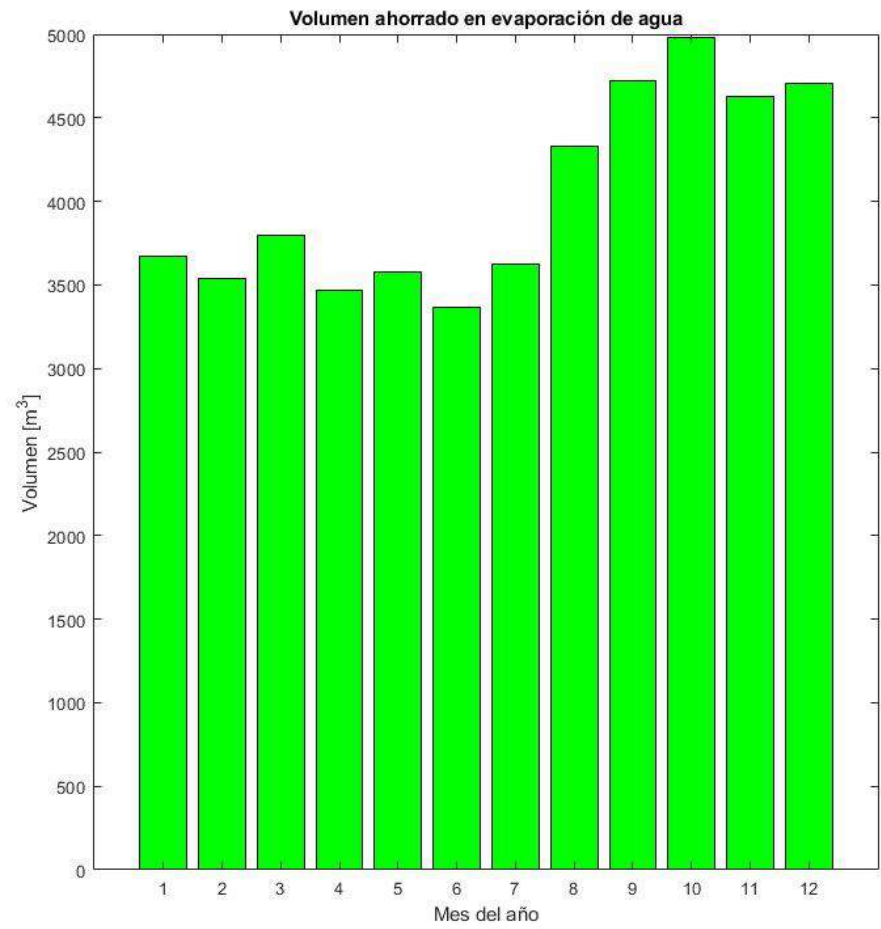
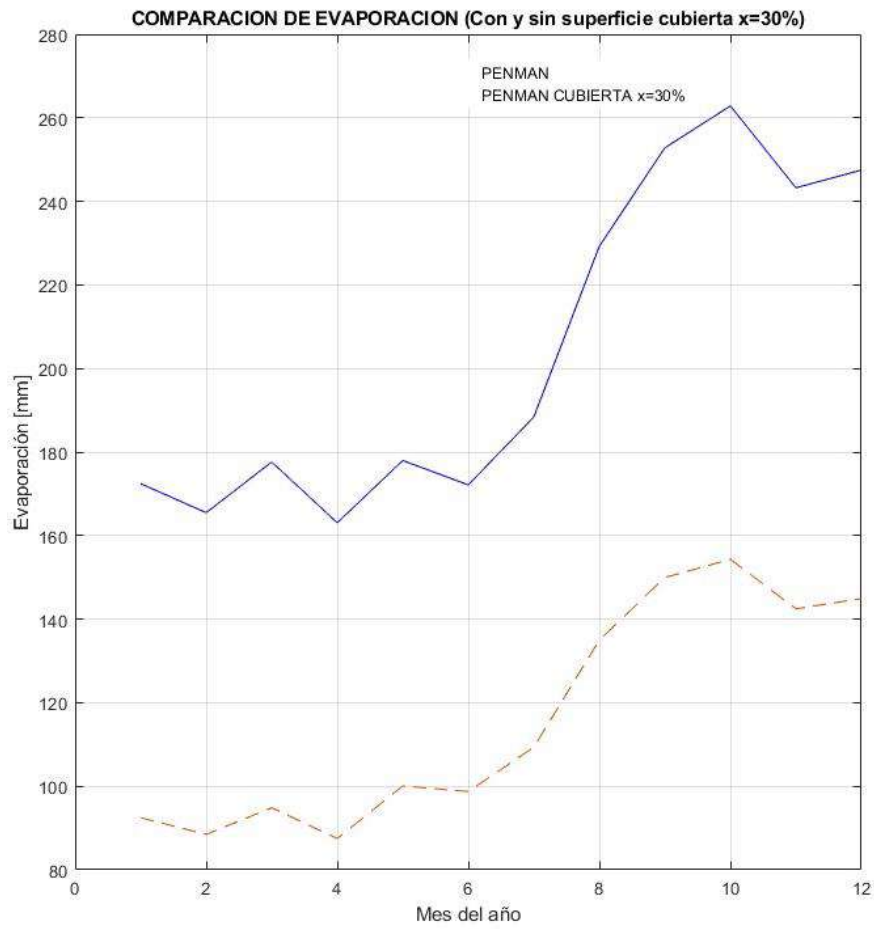
Q^*	<i>Radiación neta para superficie cubierta</i>	$\frac{MJ}{m^2 * dia}$
Q_{AD}^*	<i>Radiación para el sistema de modulo A</i>	$\frac{MJ}{m^2 * dia}$
E_{AD}	<i>Evaporación para superficie cubierta</i>	<i>mm/dia</i>
$E_{cubierta}$	<i>Evaporación total para sistema de modulo A</i>	<i>mm/dia</i>
x	<i>Porcentaje de superficie de reservorio cubierta</i>	<i>N/A</i>

ANEXO II. Apéndice de resultados de evaporación y volumen para cada central hidroeléctrica del país.

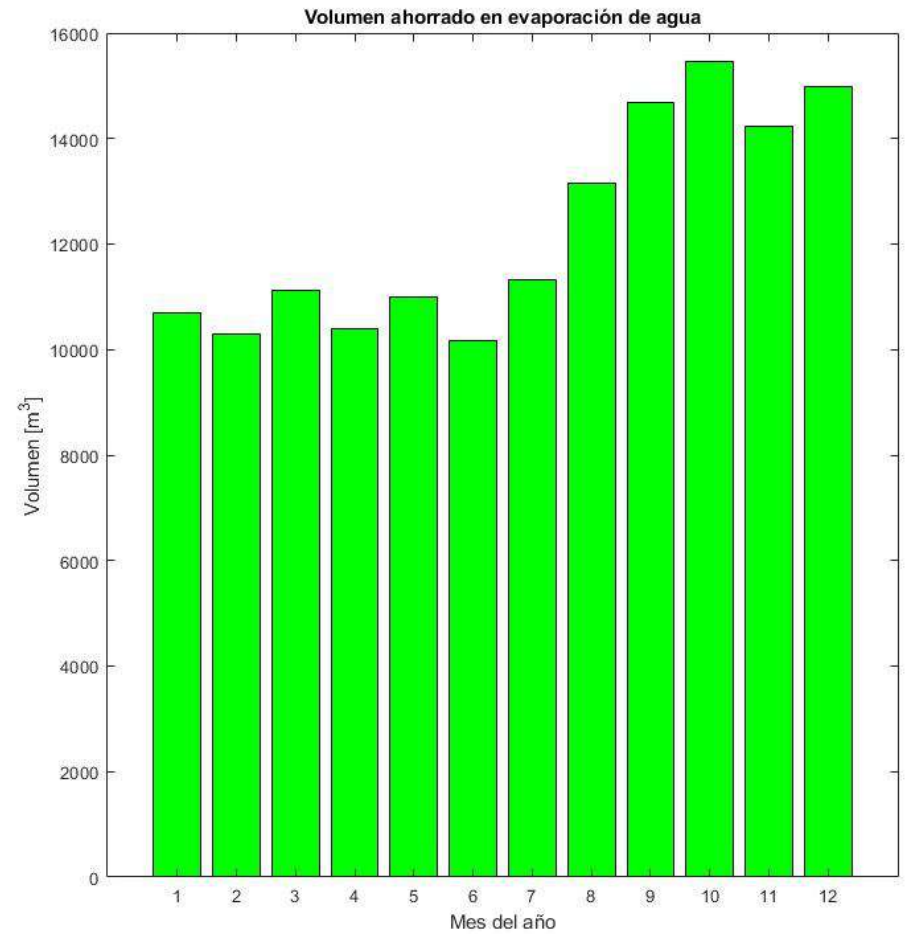
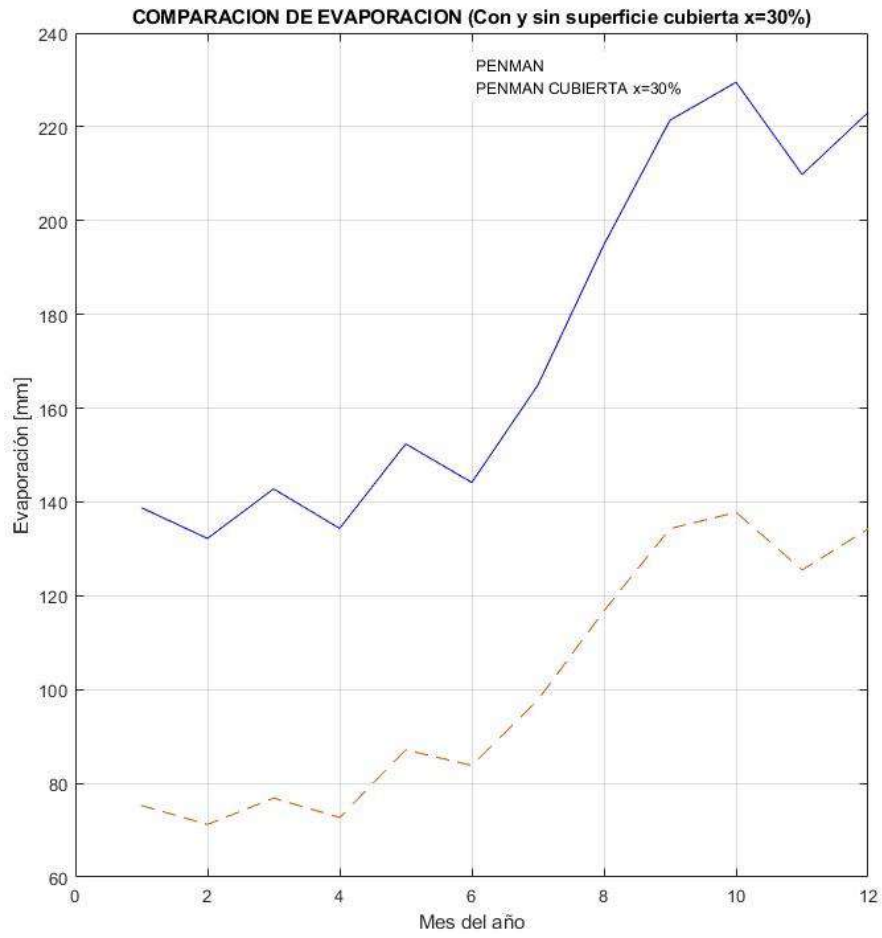
BABA



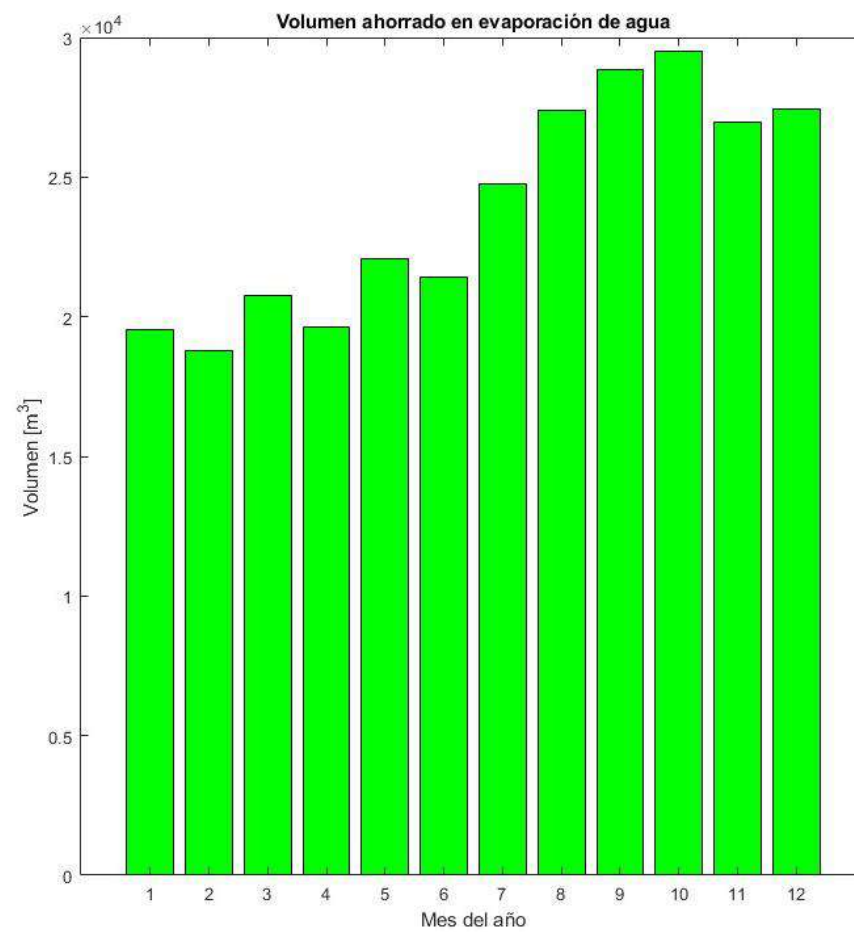
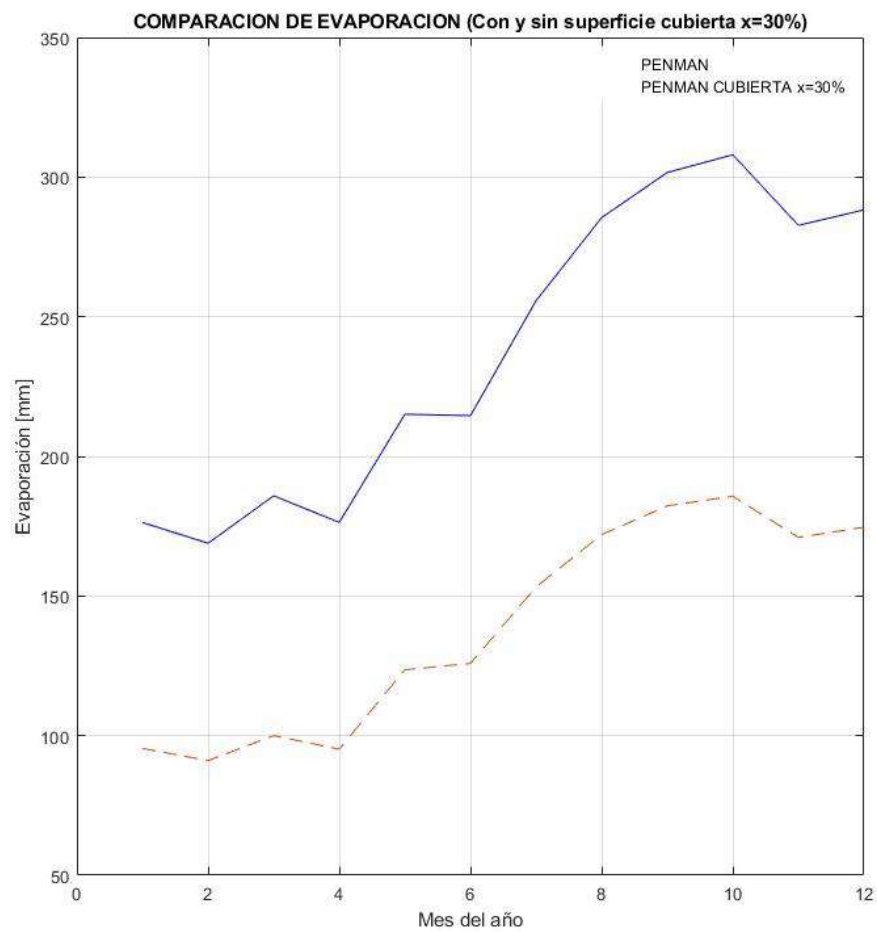
AGOYAN



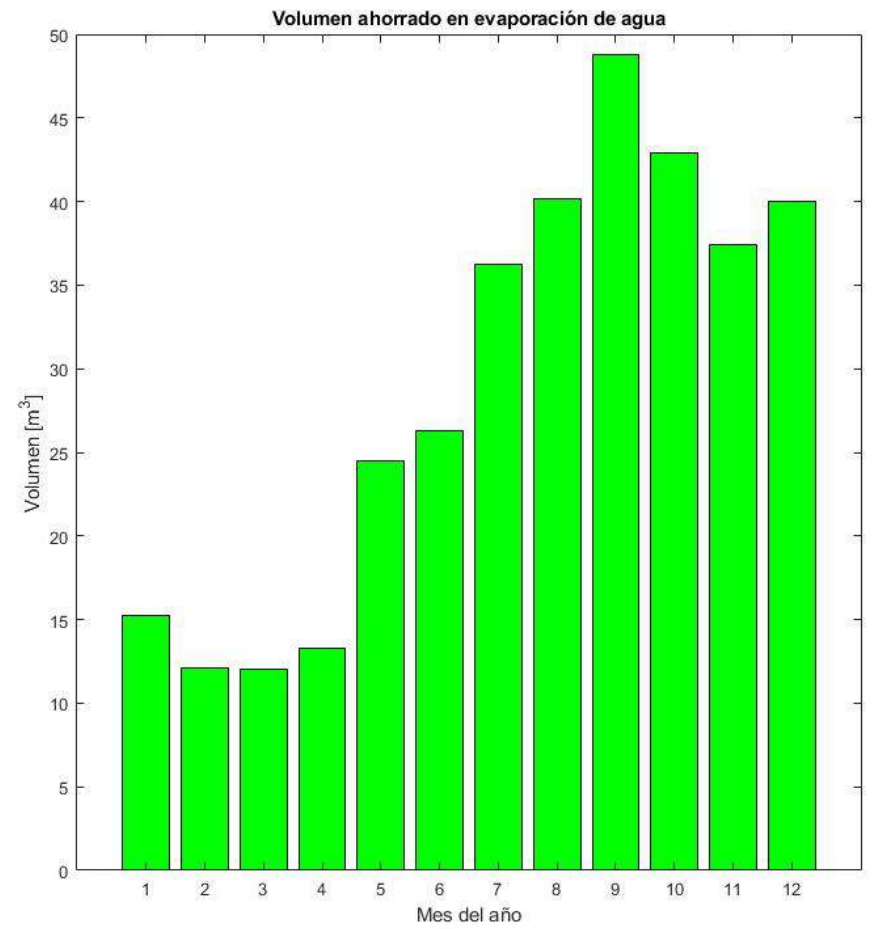
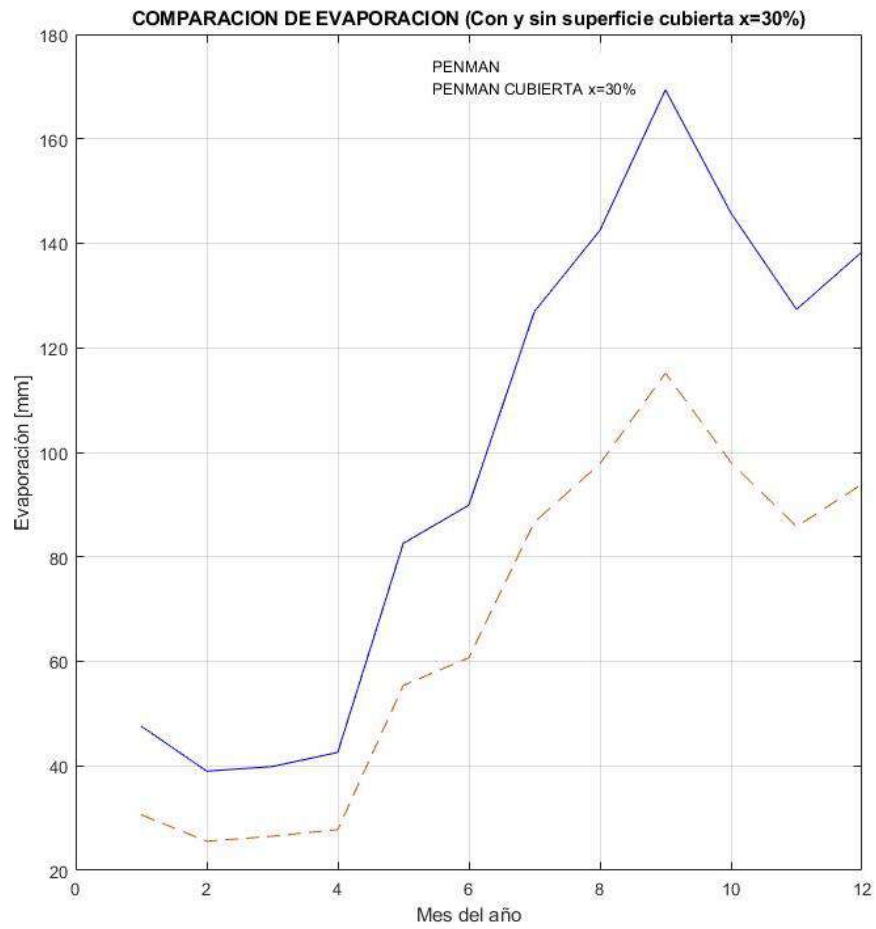
LORETO



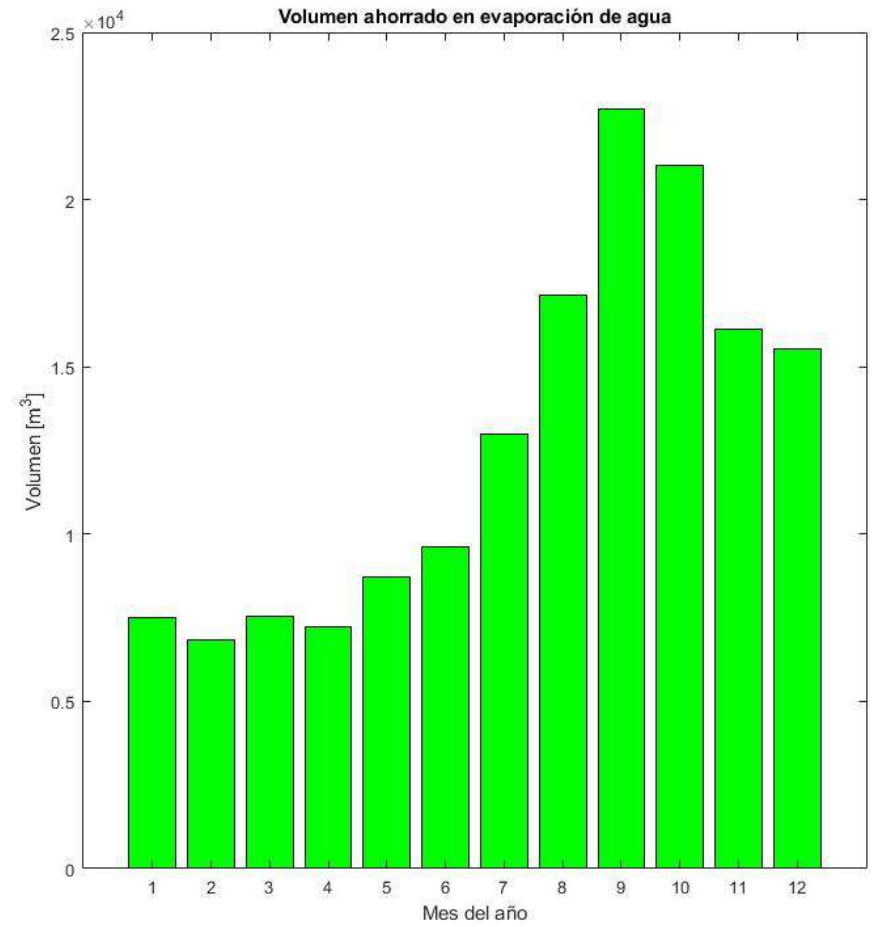
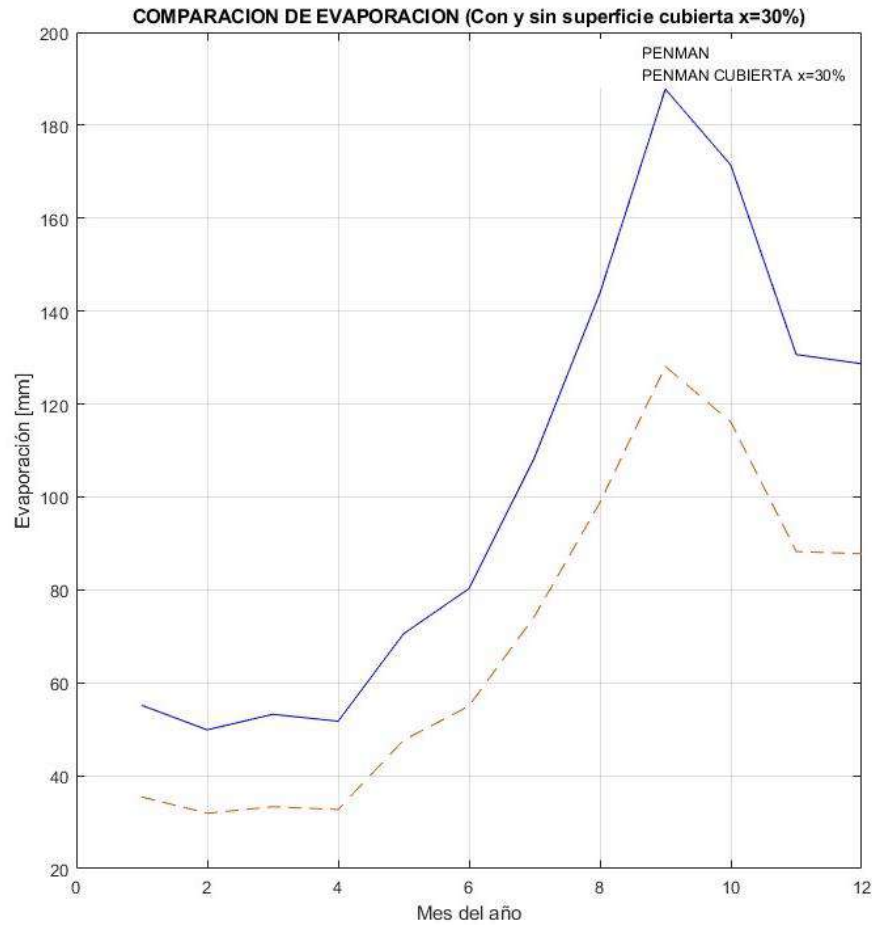
MANDURIACU



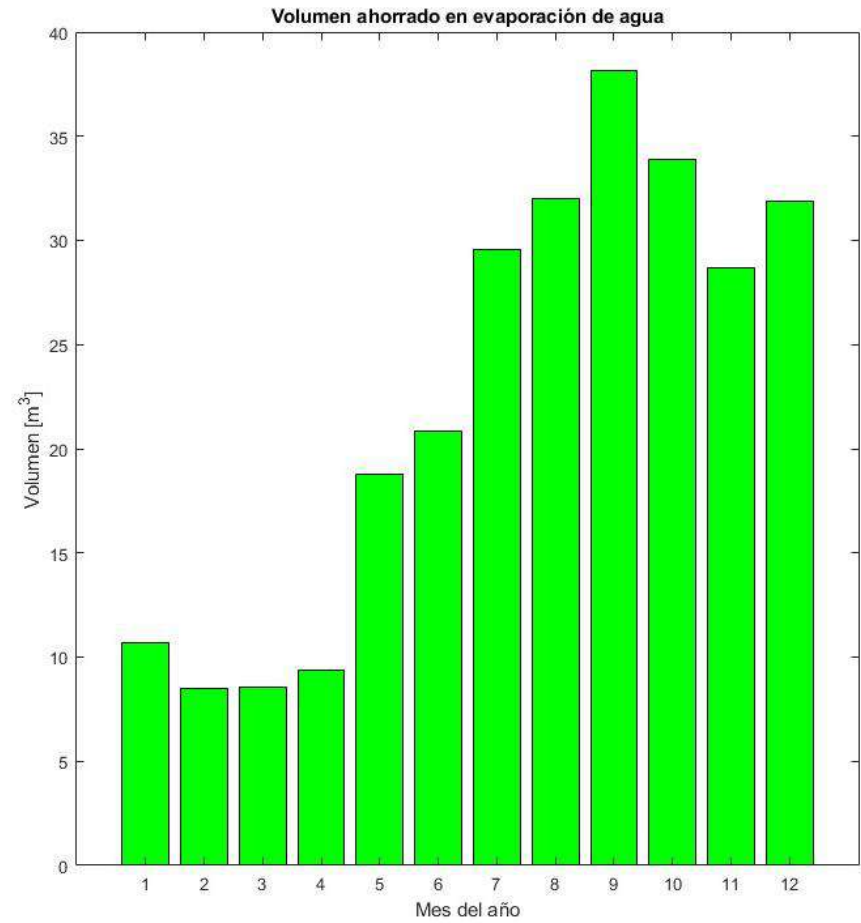
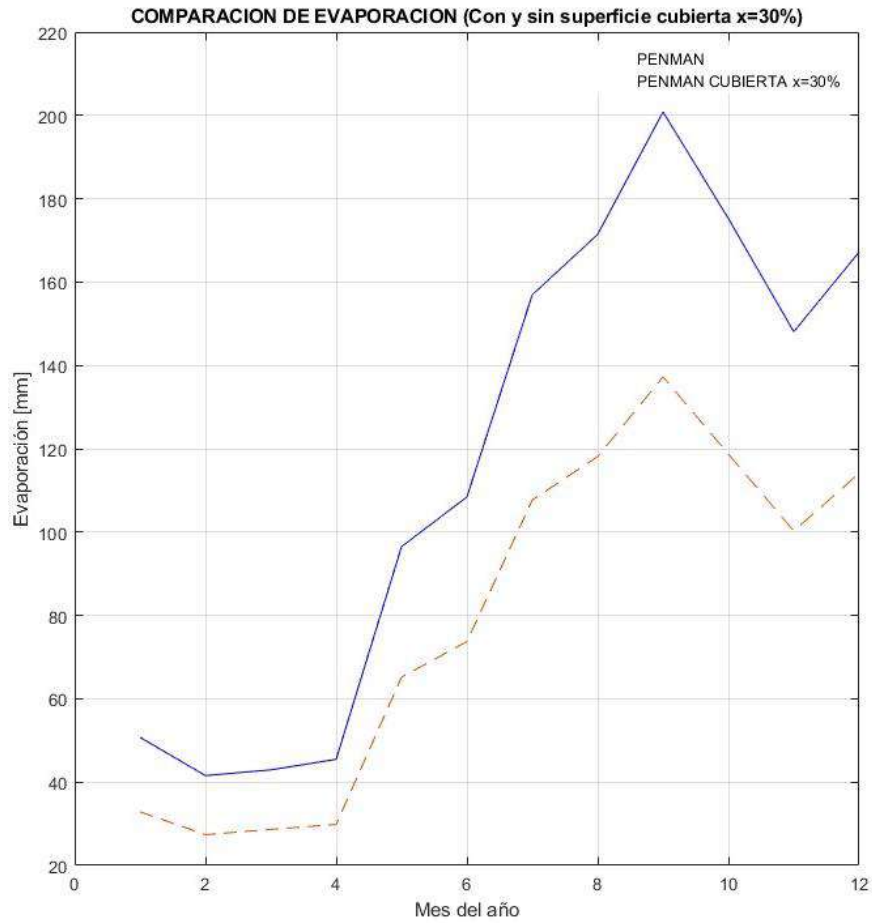
PUCARÁ



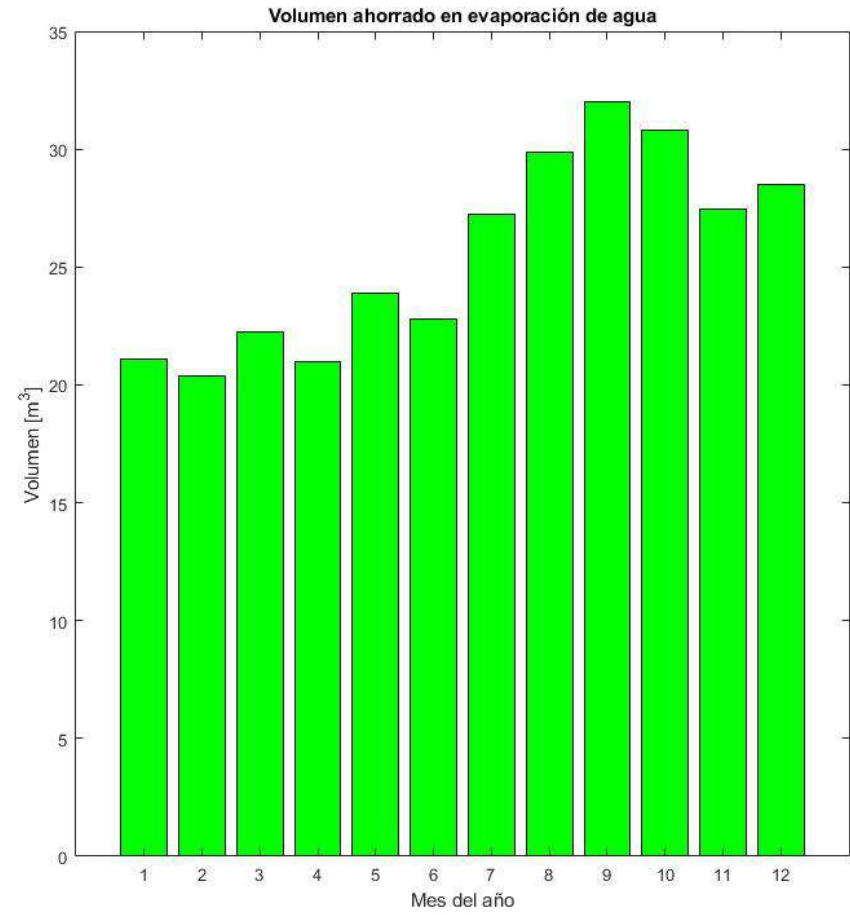
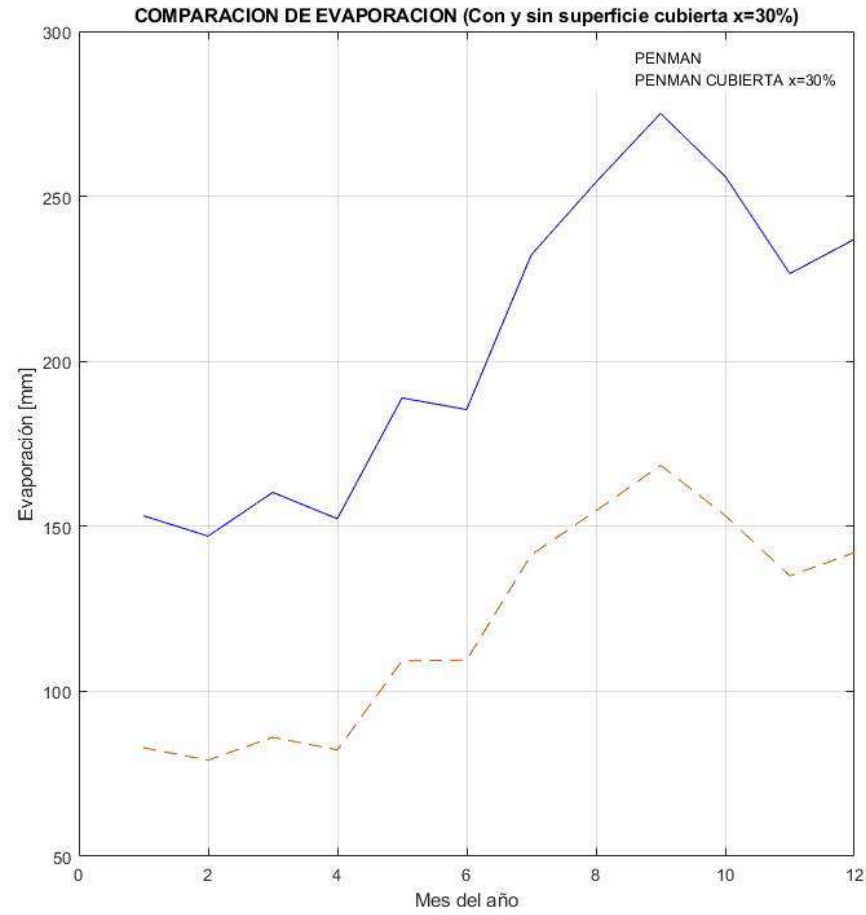
SAUCAY



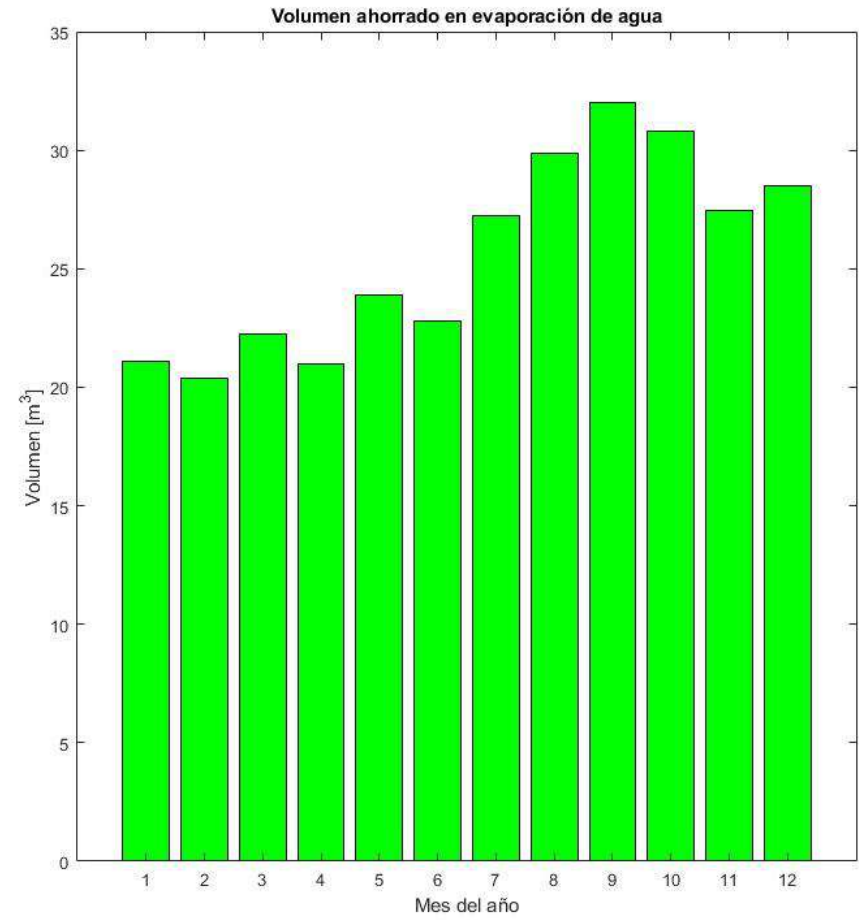
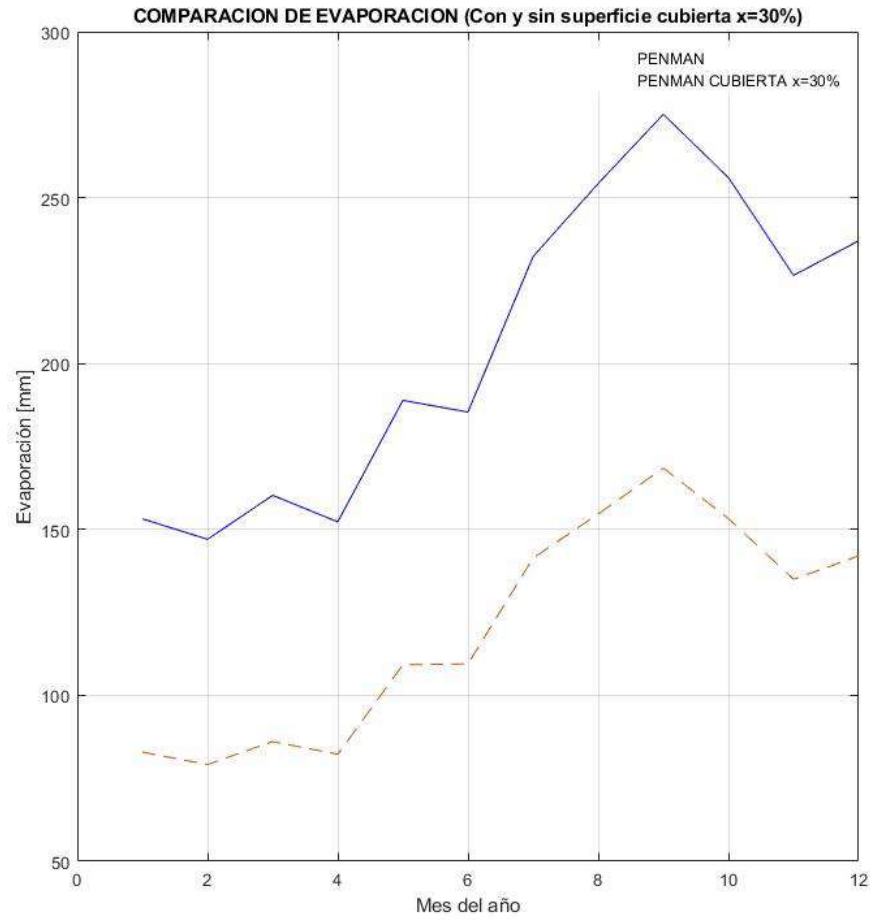
ALAO



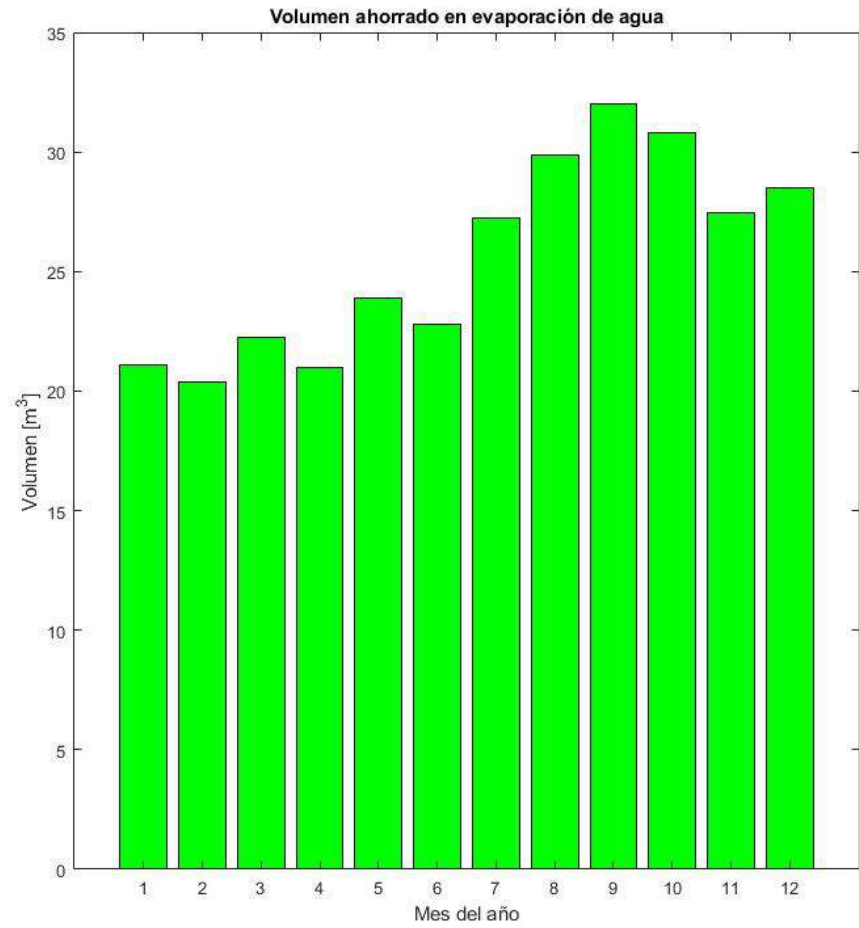
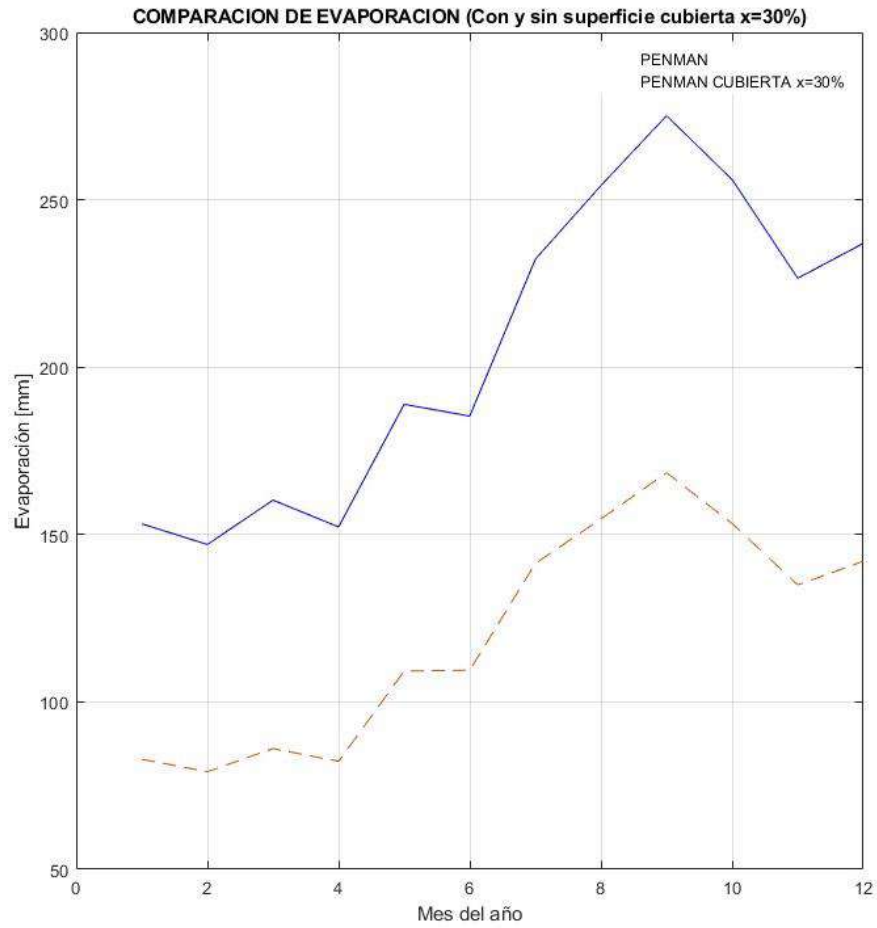
AMBI



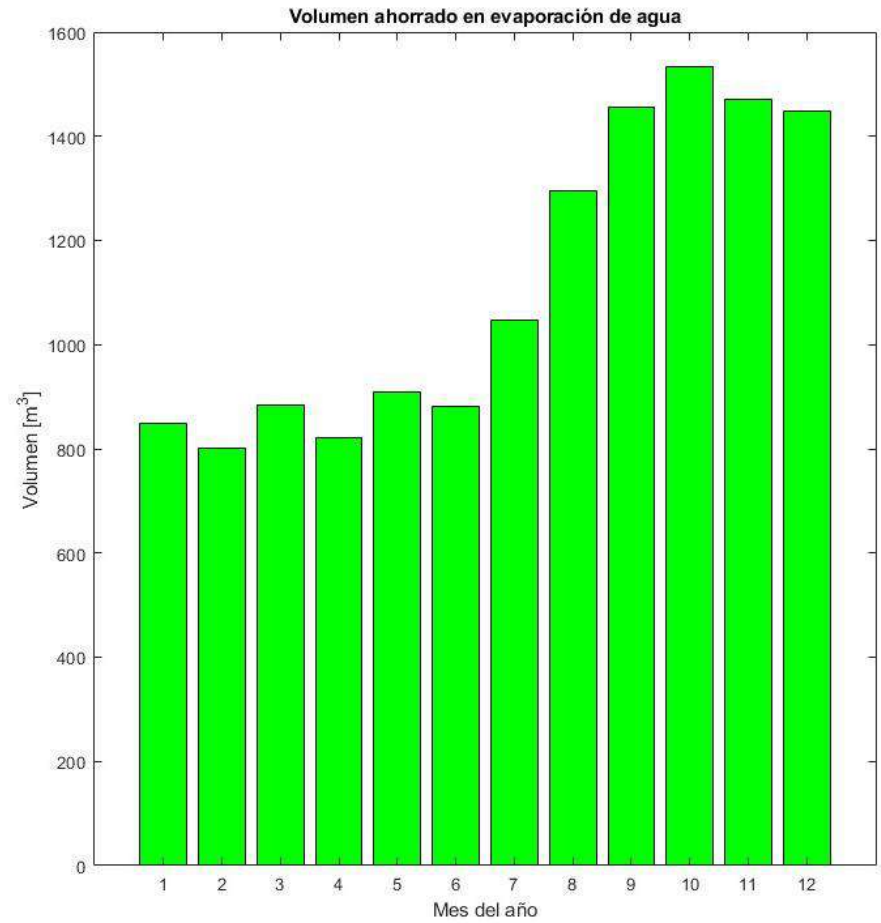
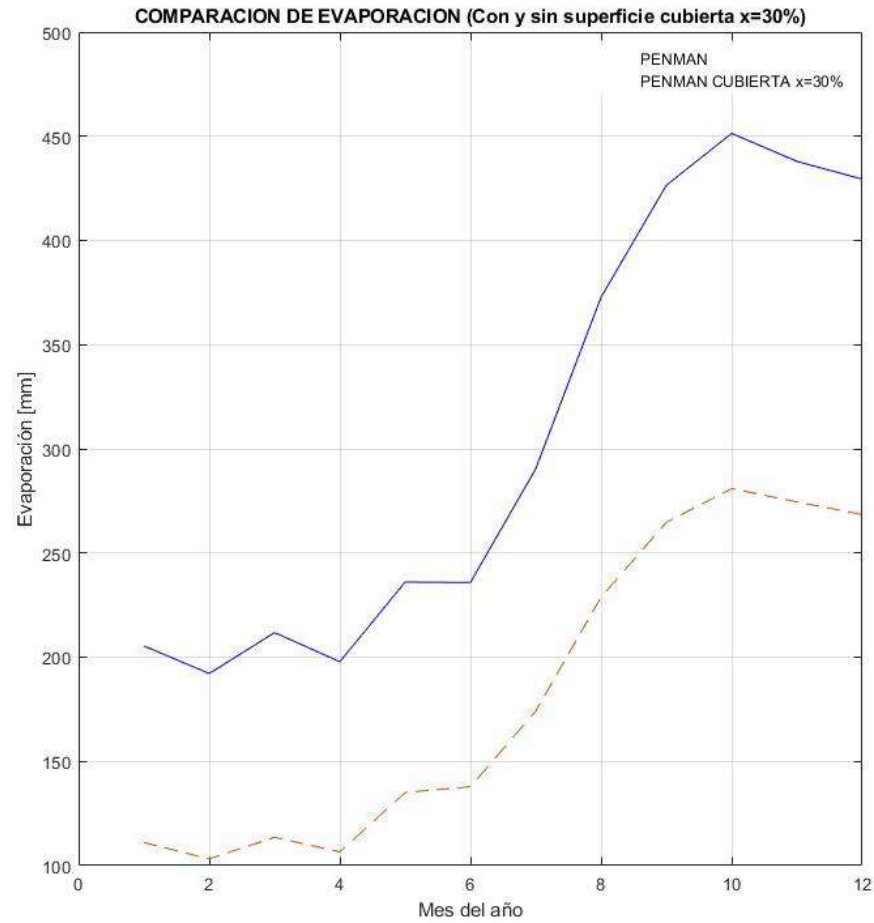
ATUNTAQUI



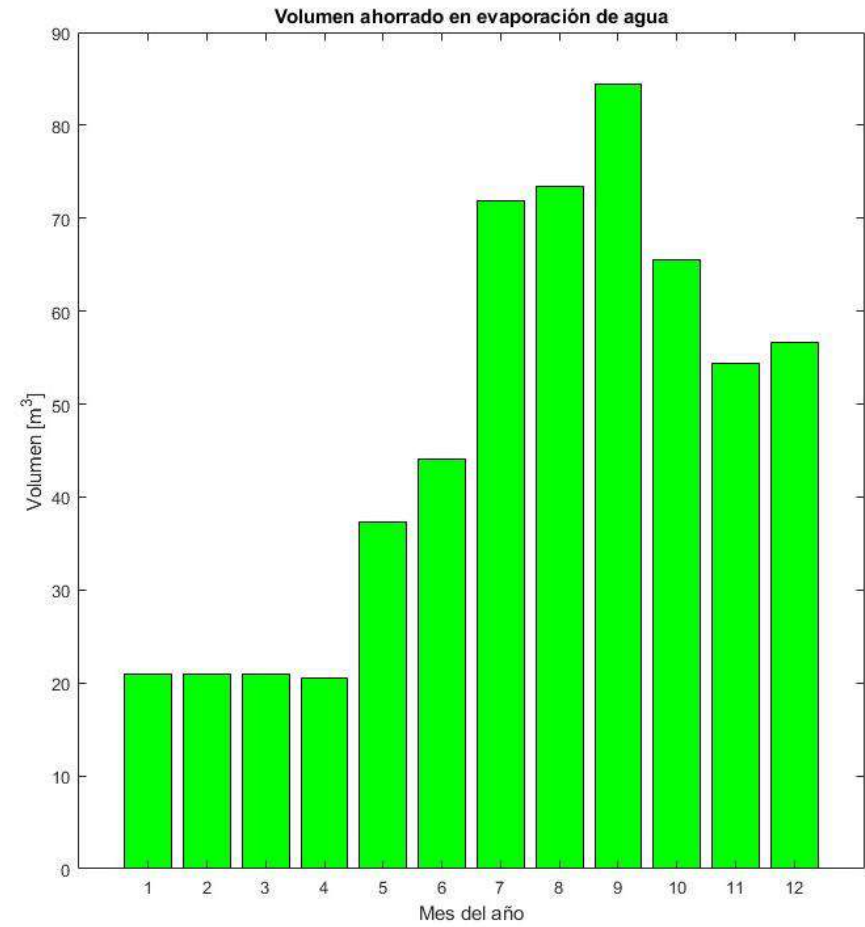
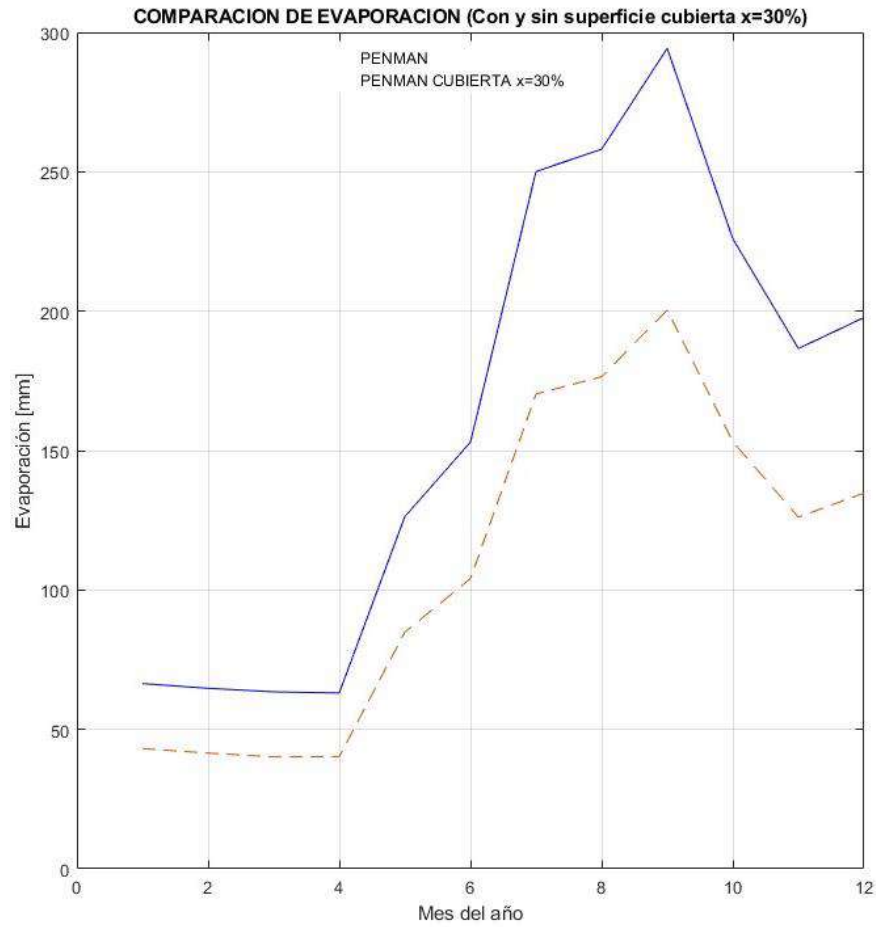
BUENOS AIRES



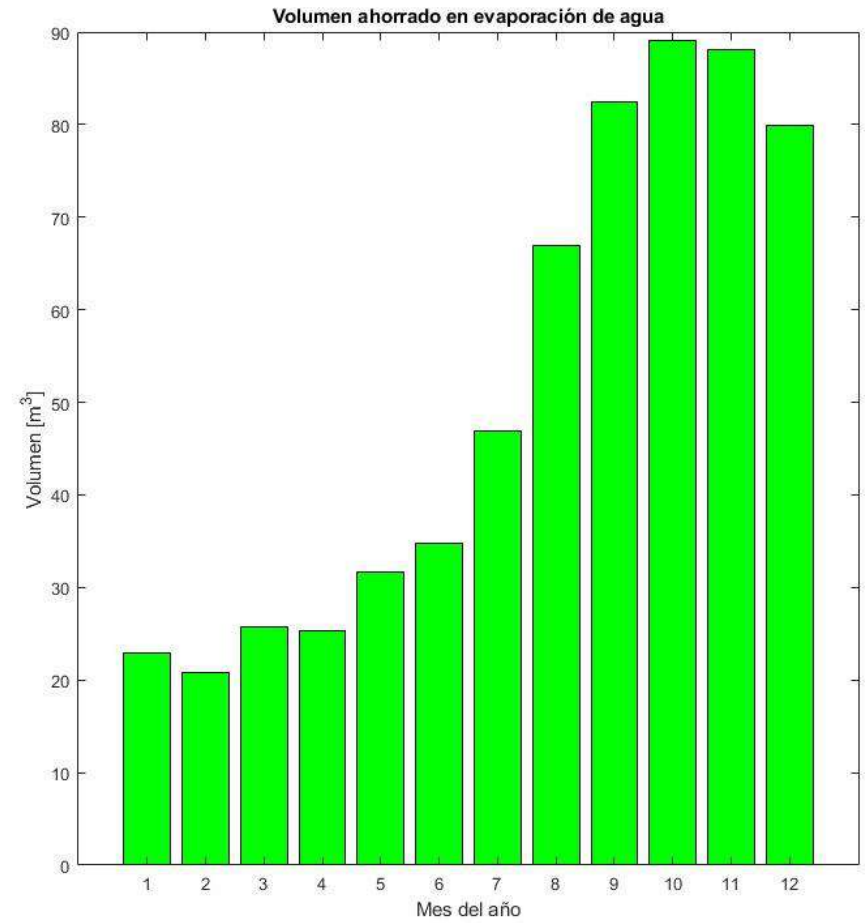
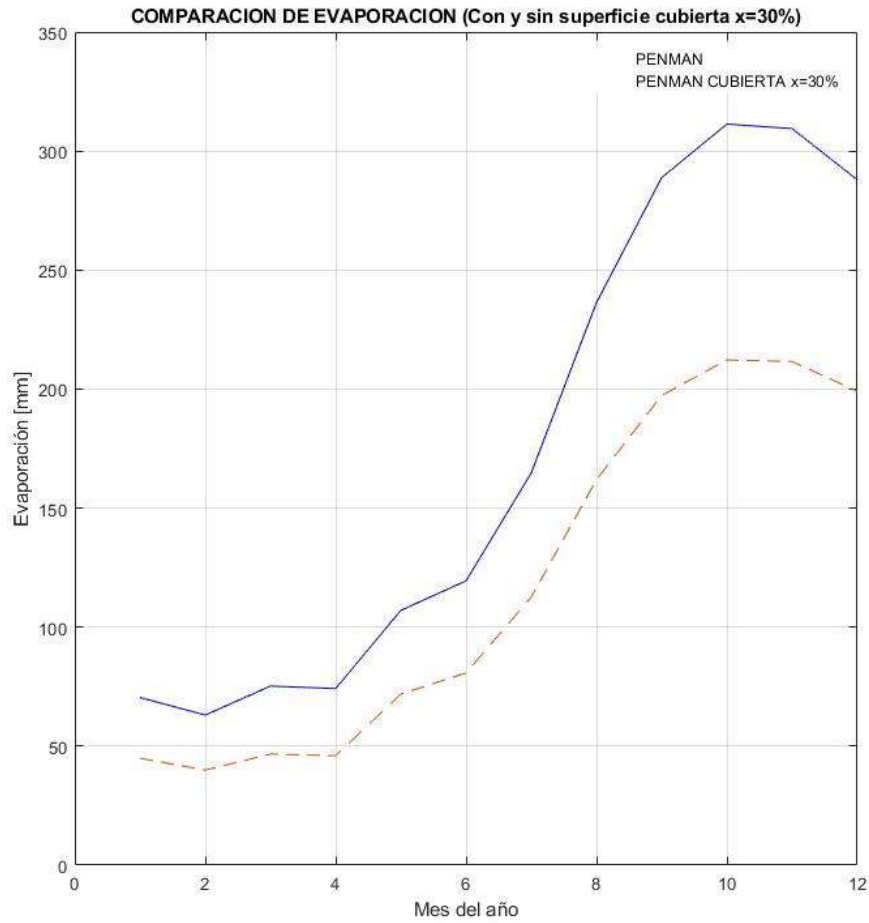
CALOPE



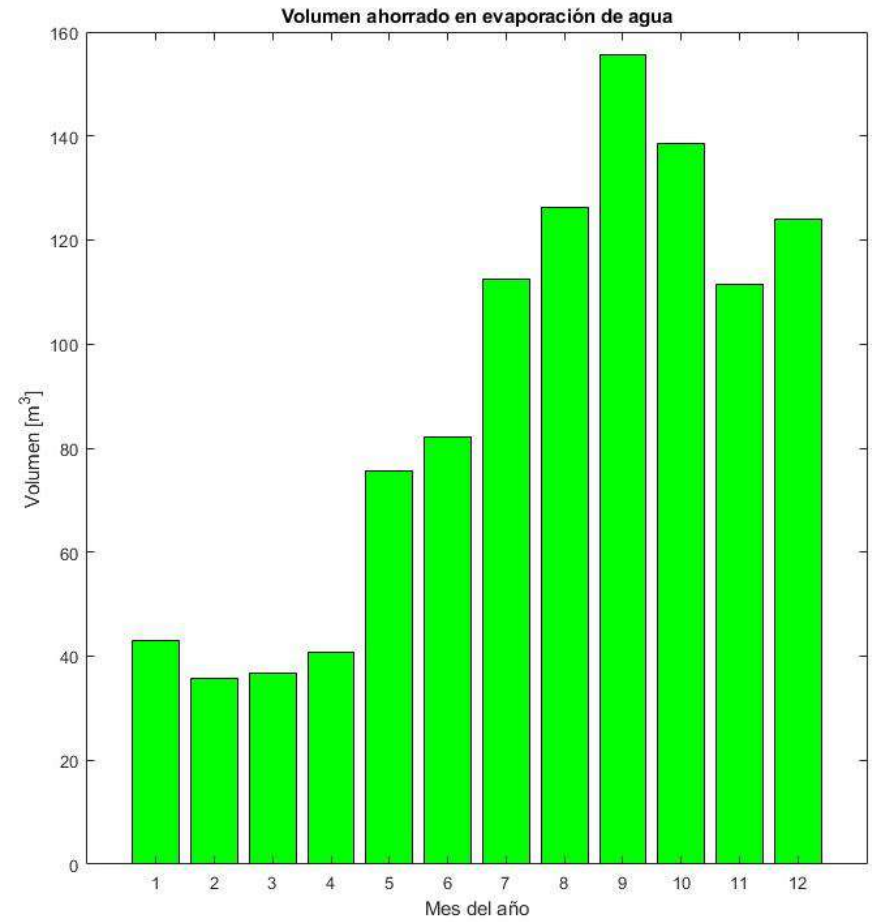
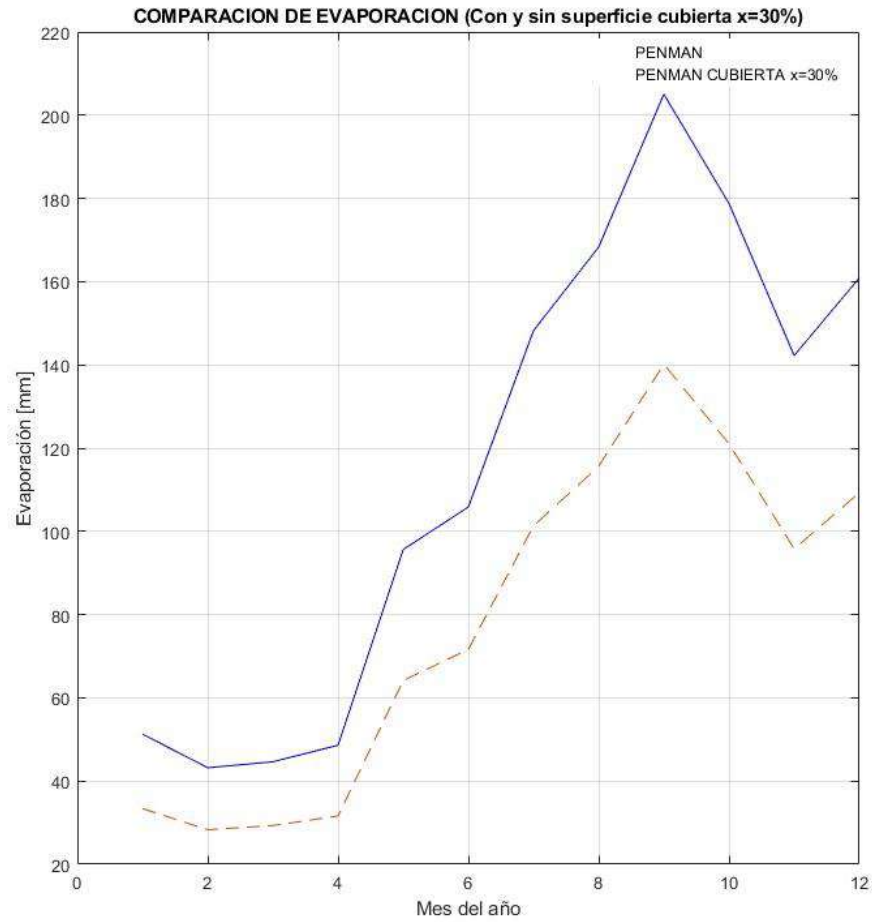
CARLOS MORA



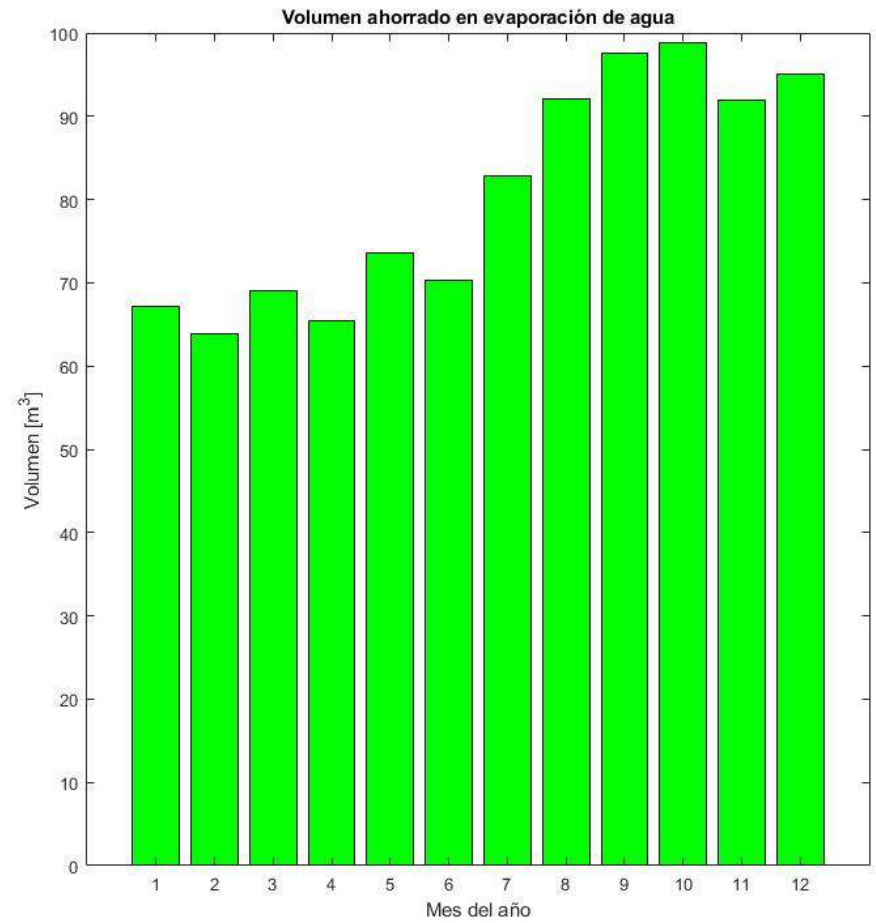
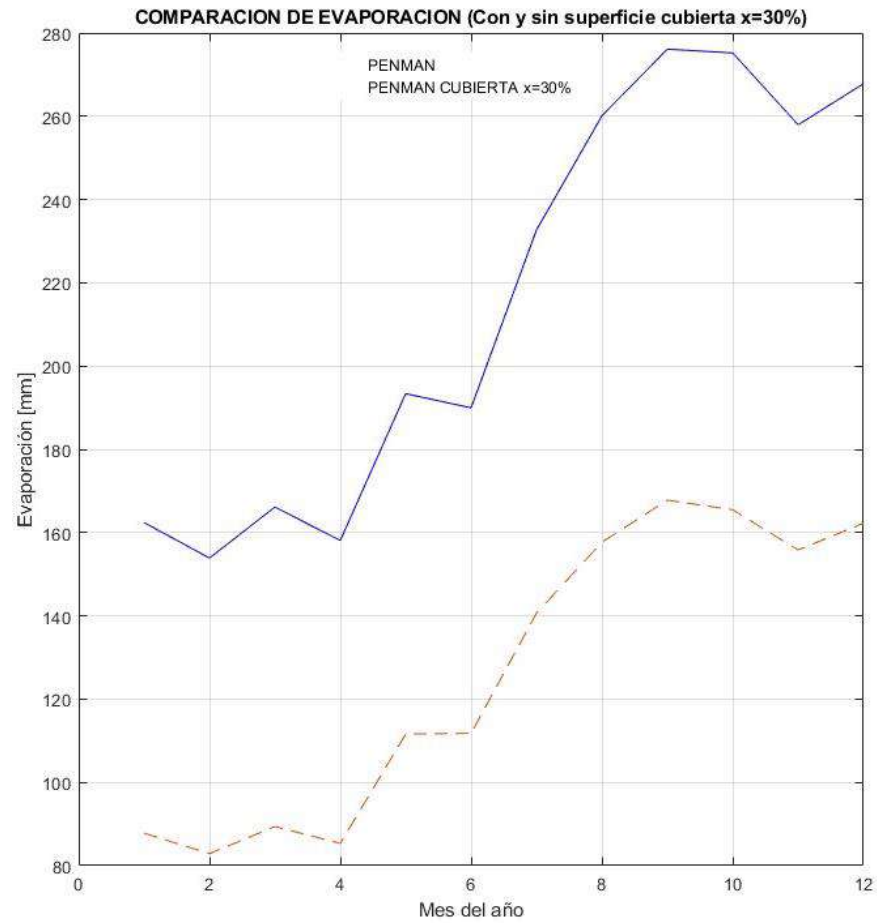
CATAZACON



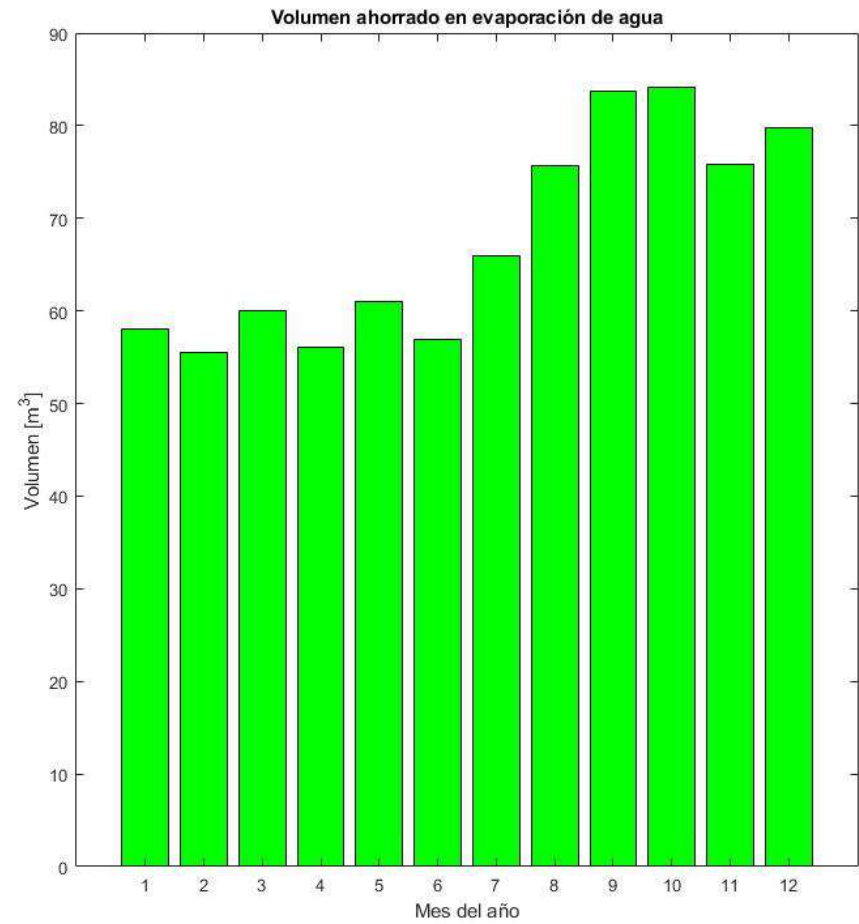
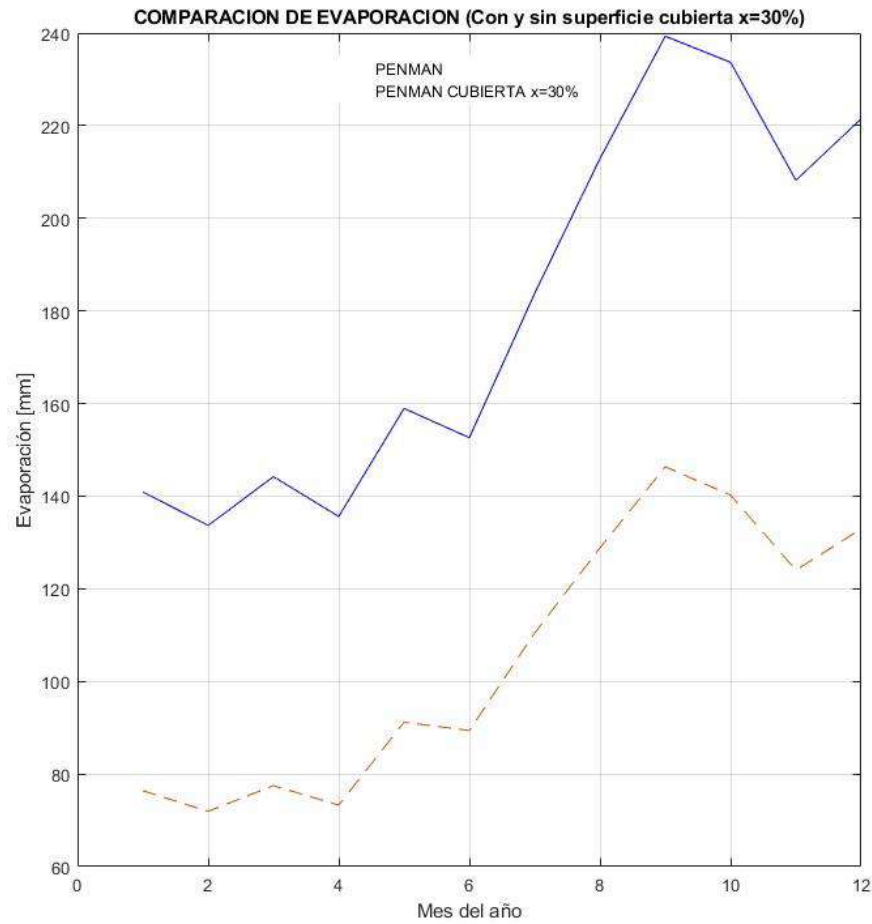
CENTRAL ALAZAN



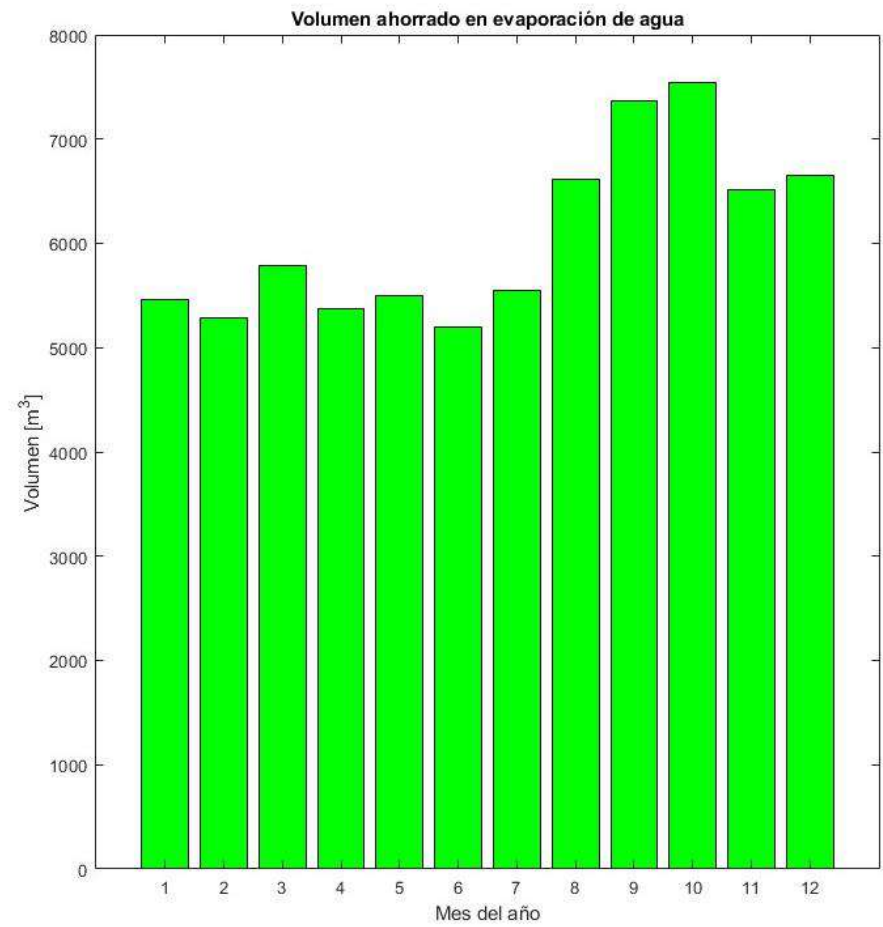
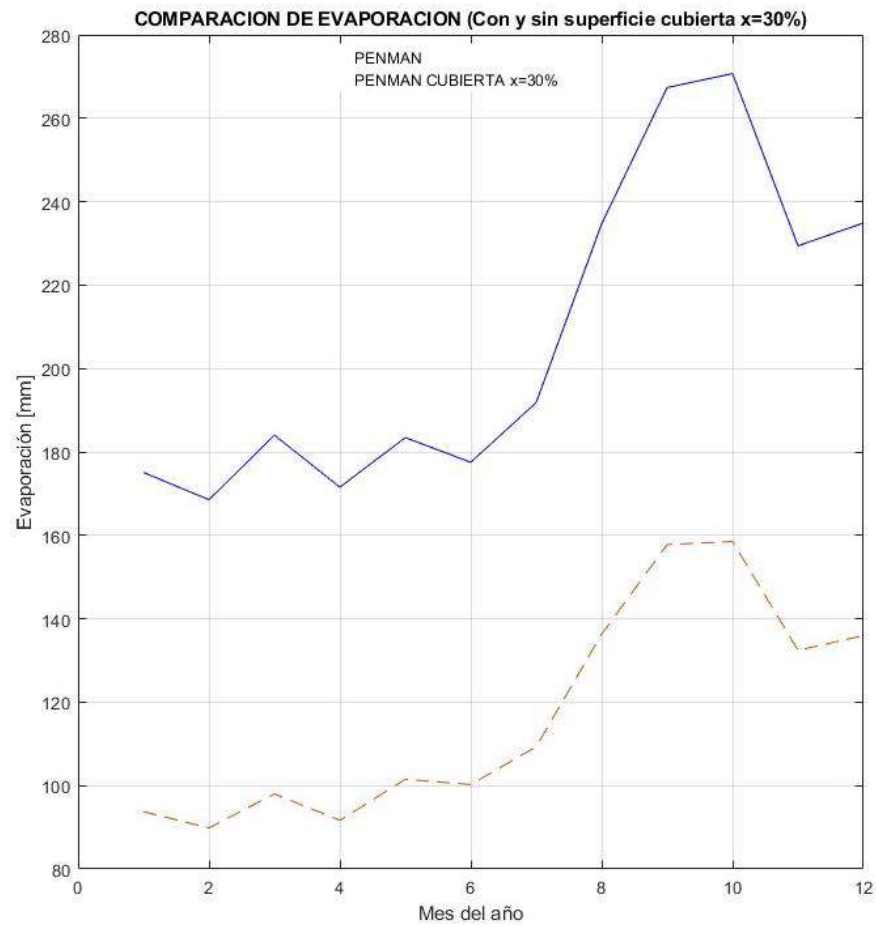
CORAZON



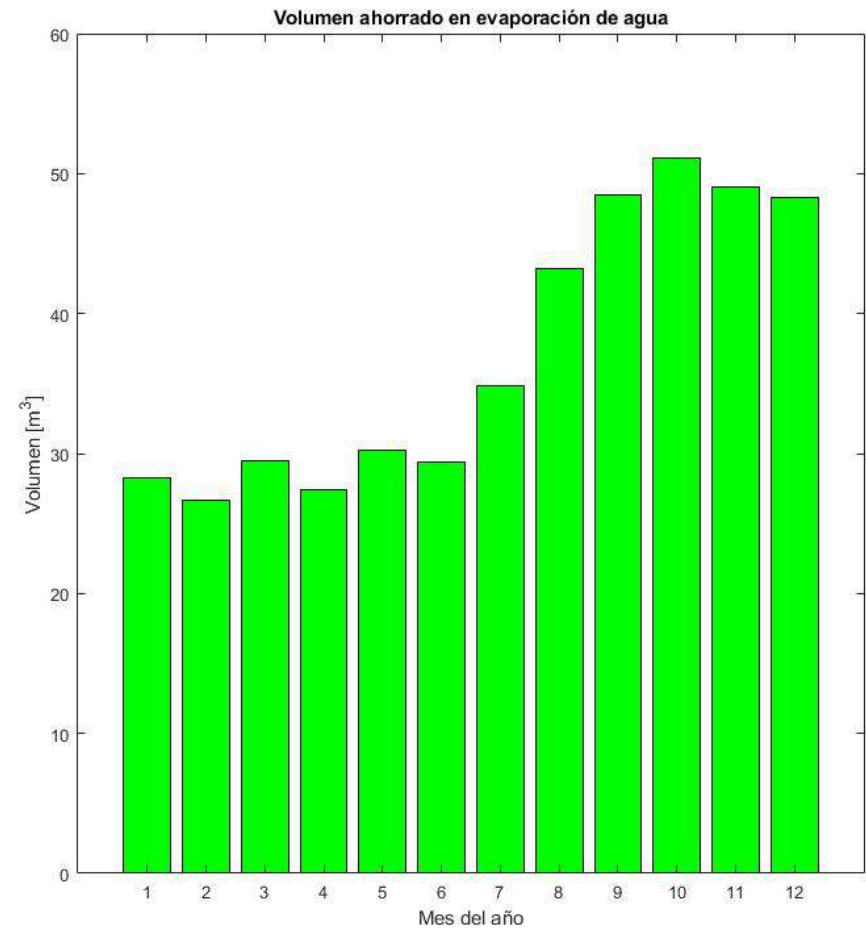
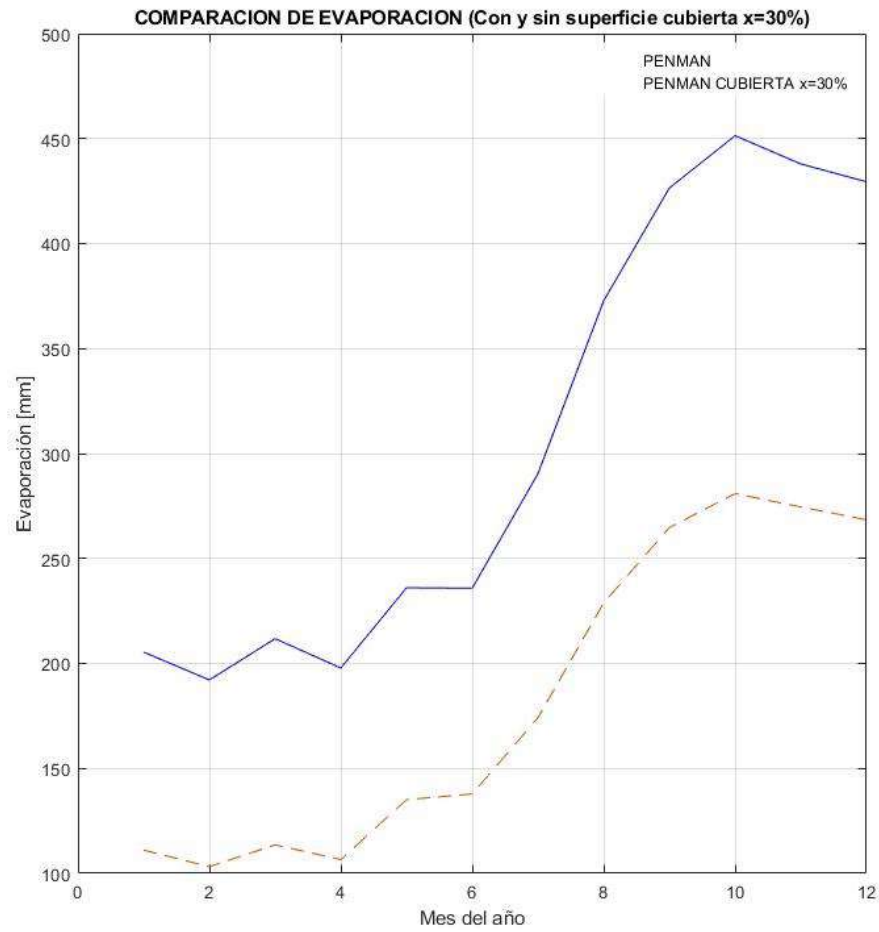
CUMBAYA



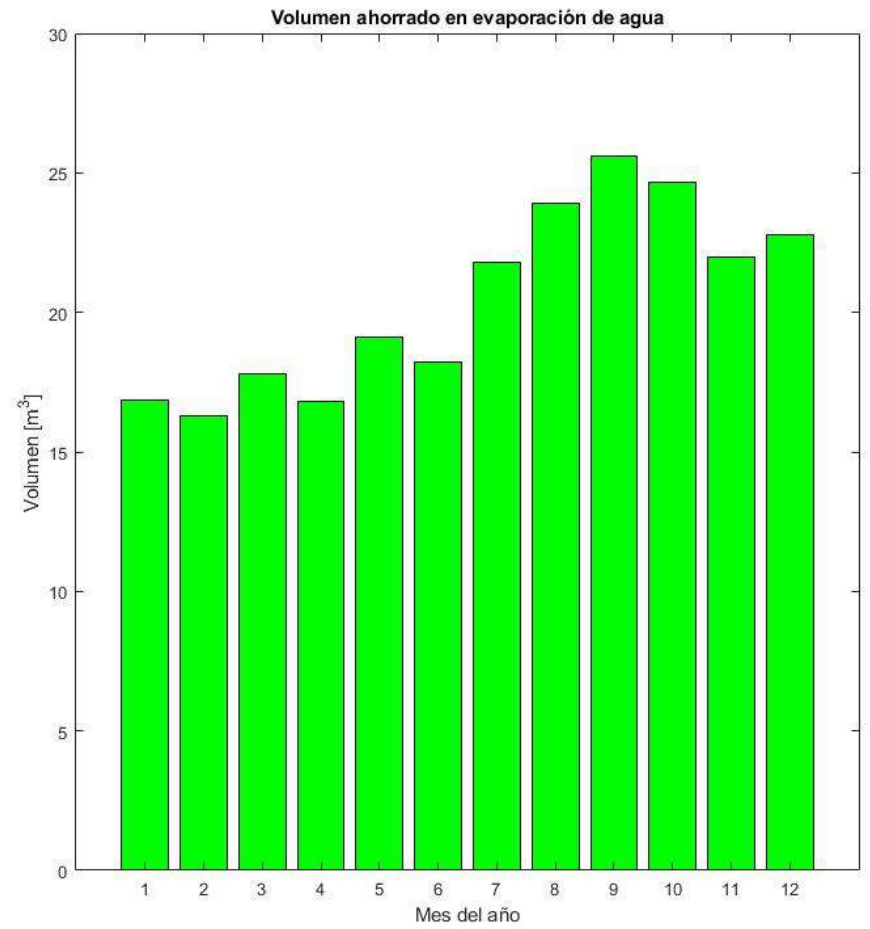
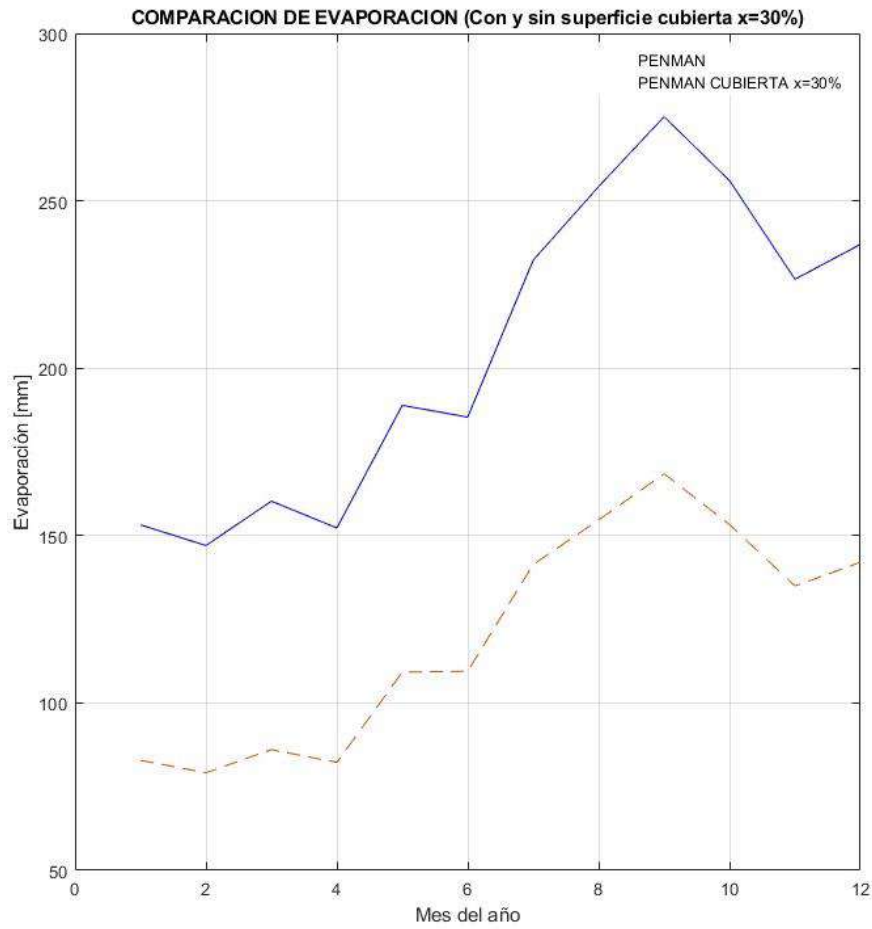
DUE



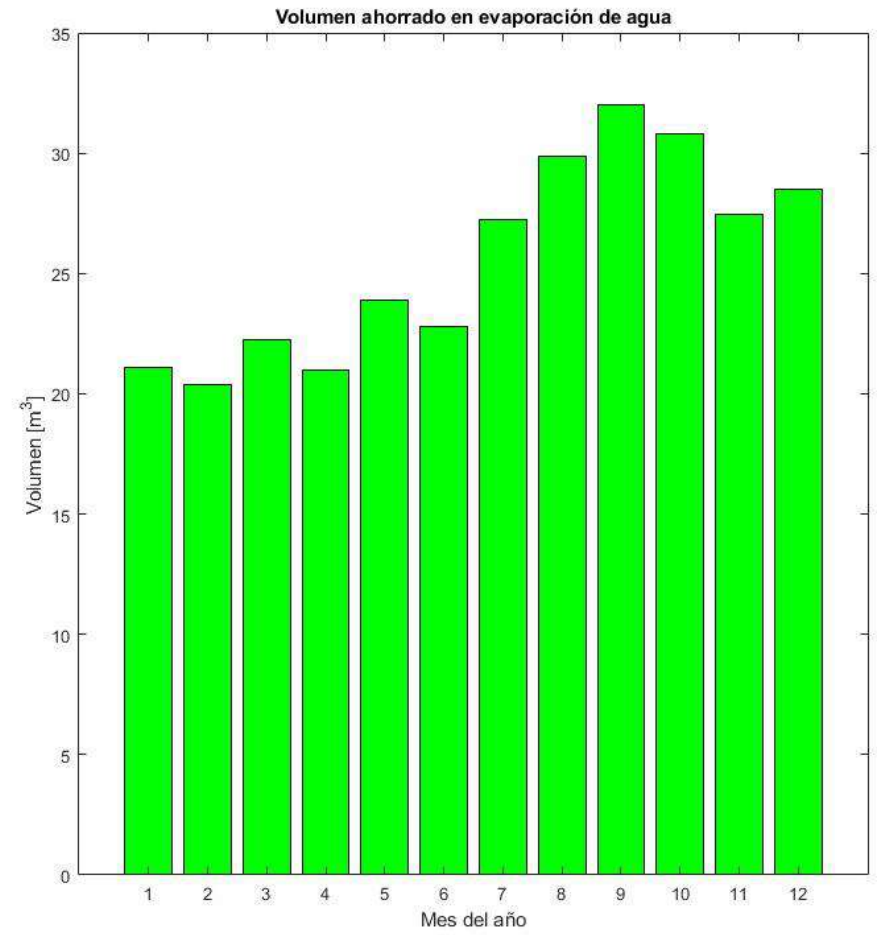
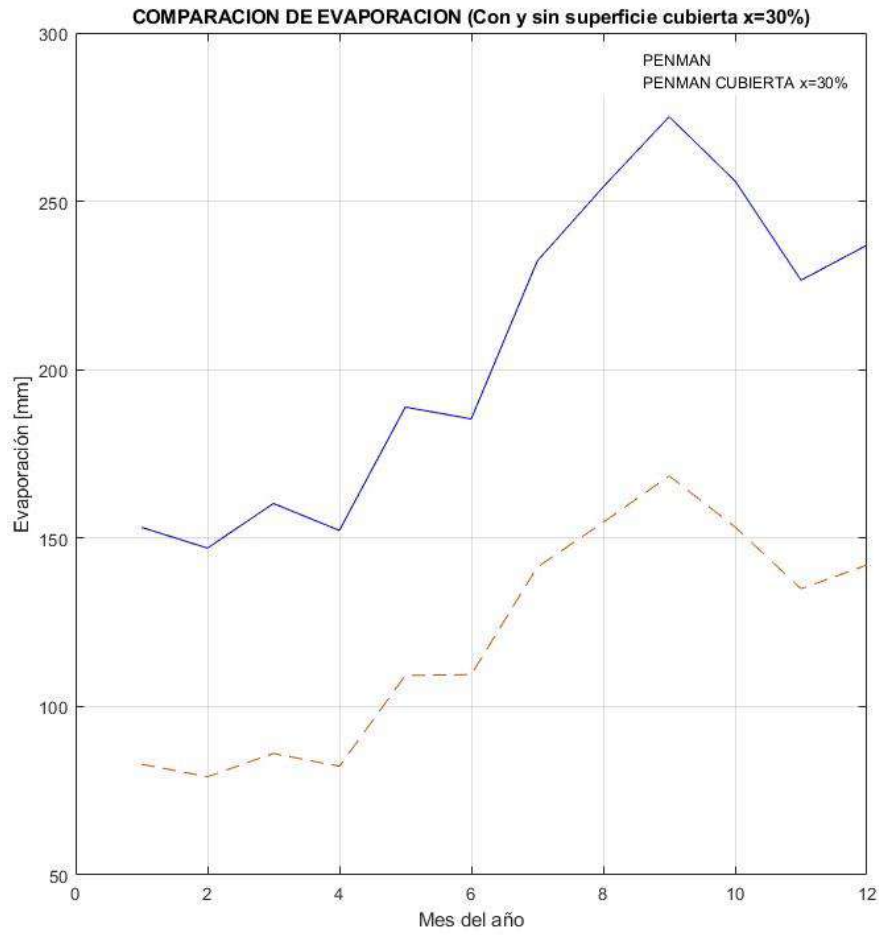
EL ESTADO



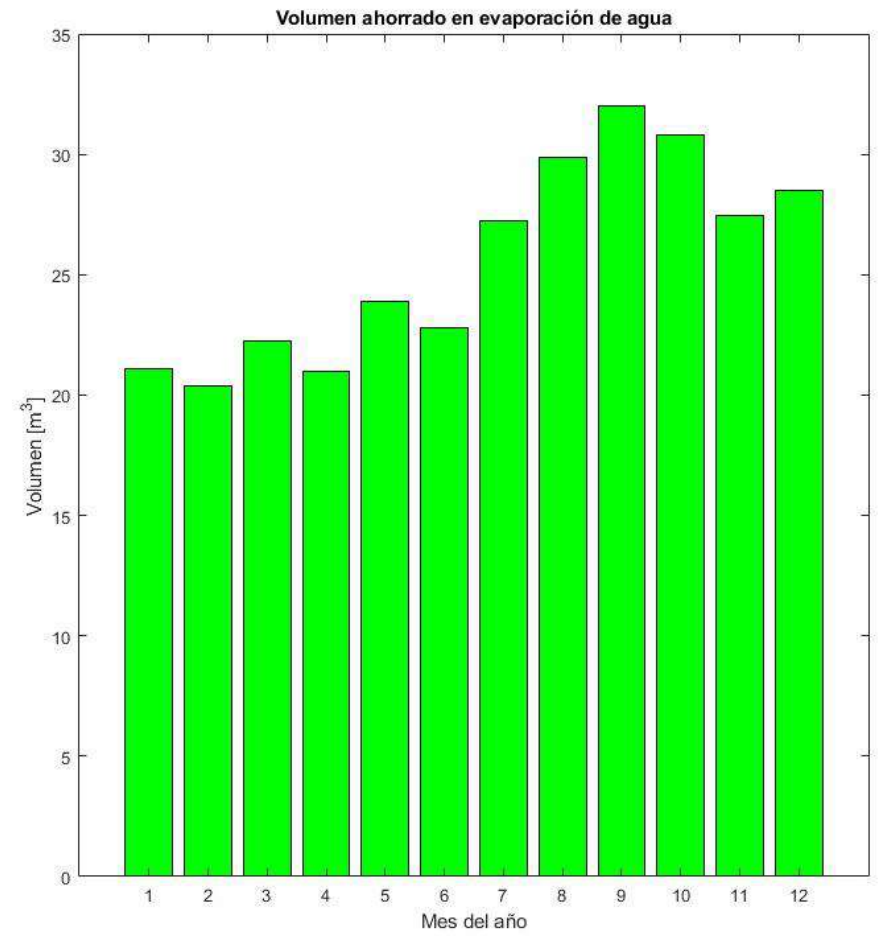
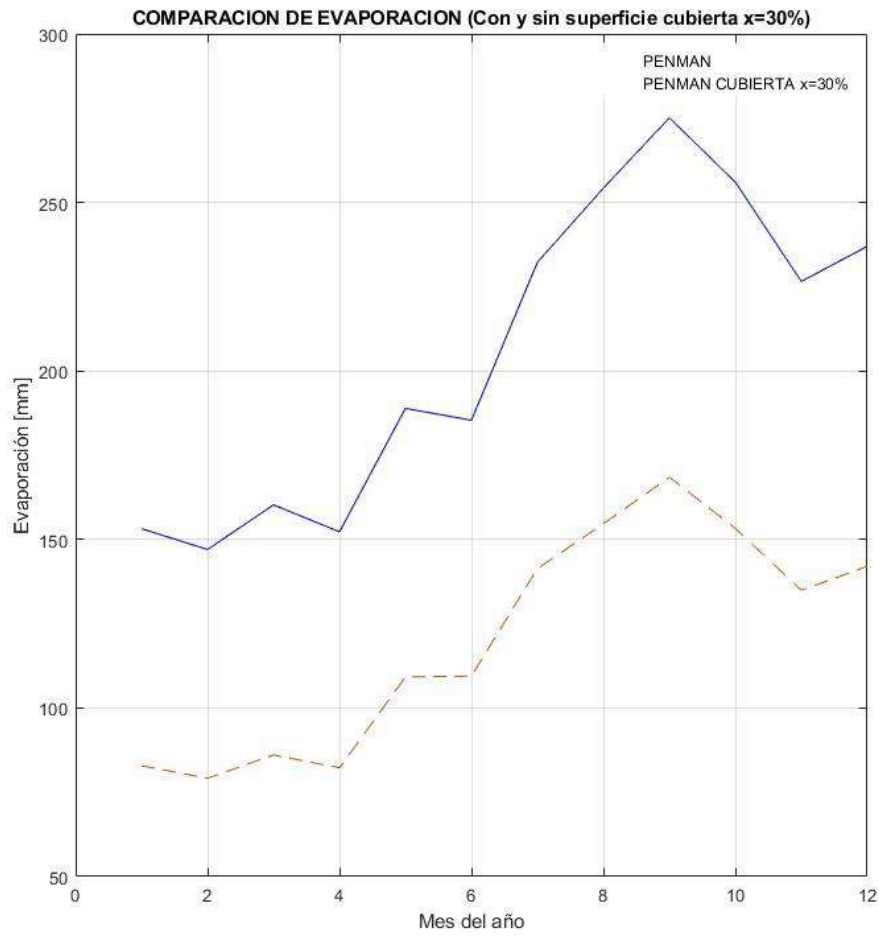
ELECTROCORDOVA



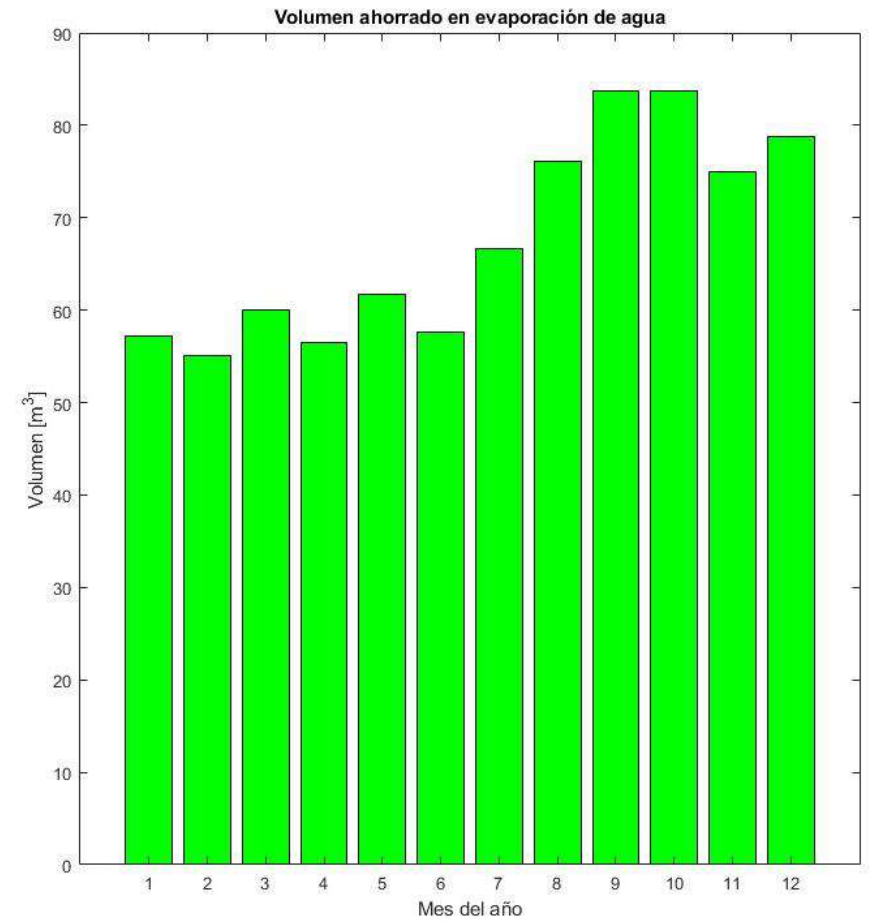
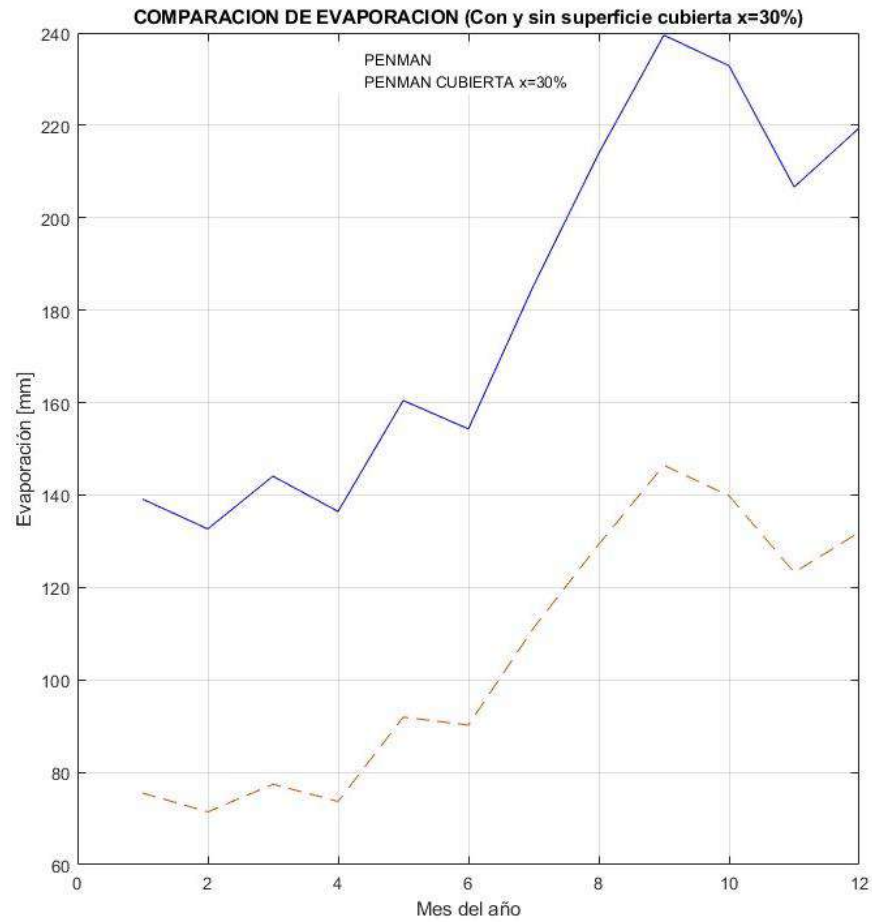
ESPEJO



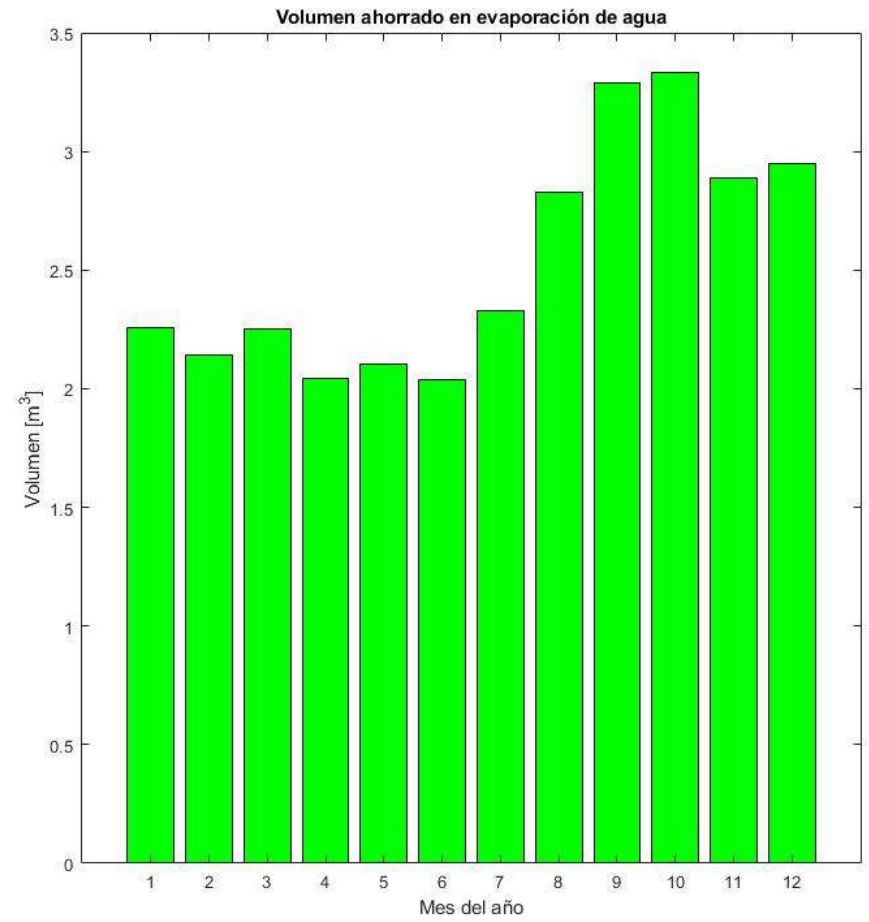
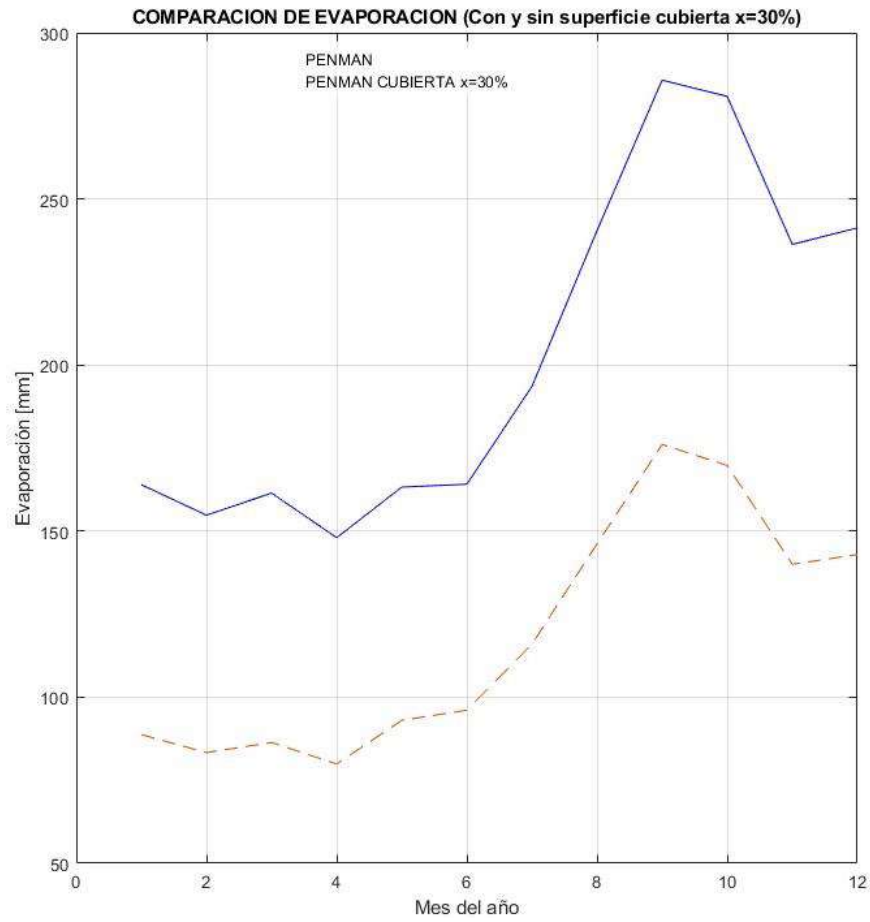
FABRICA IMBABURA



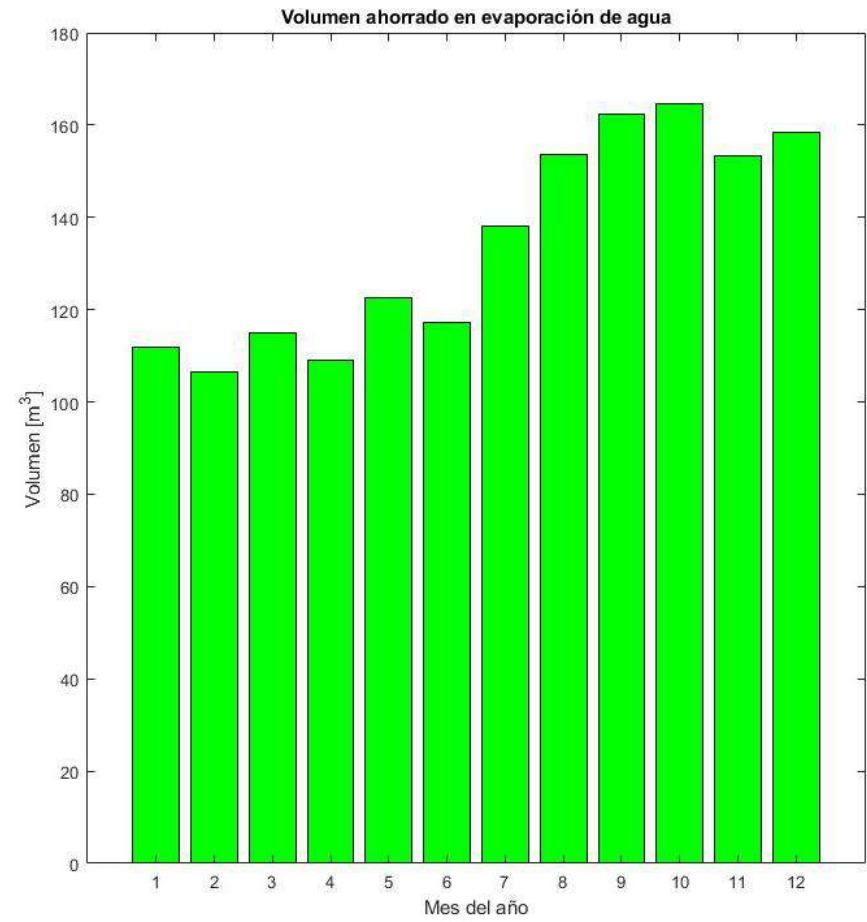
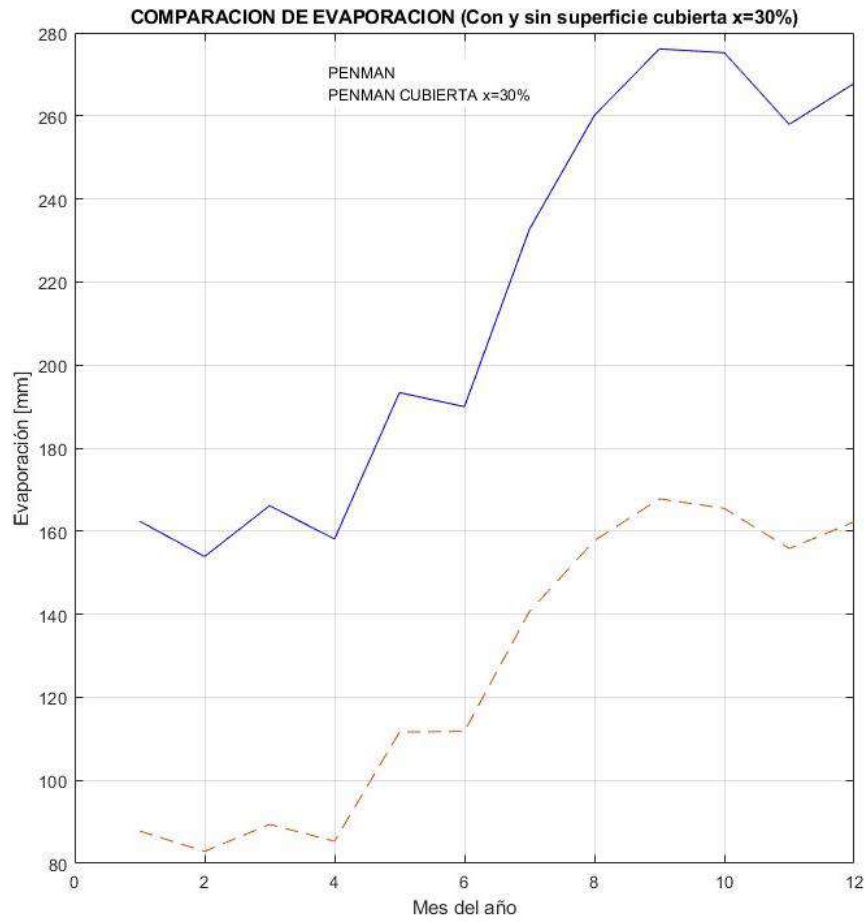
GEPPERT



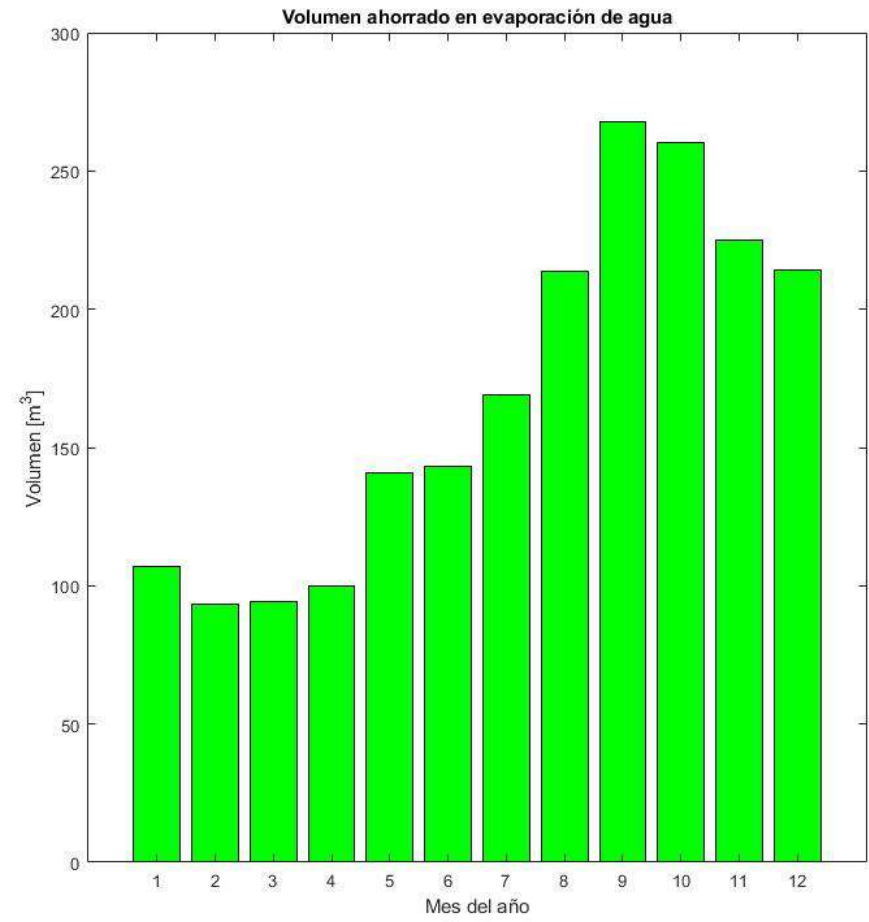
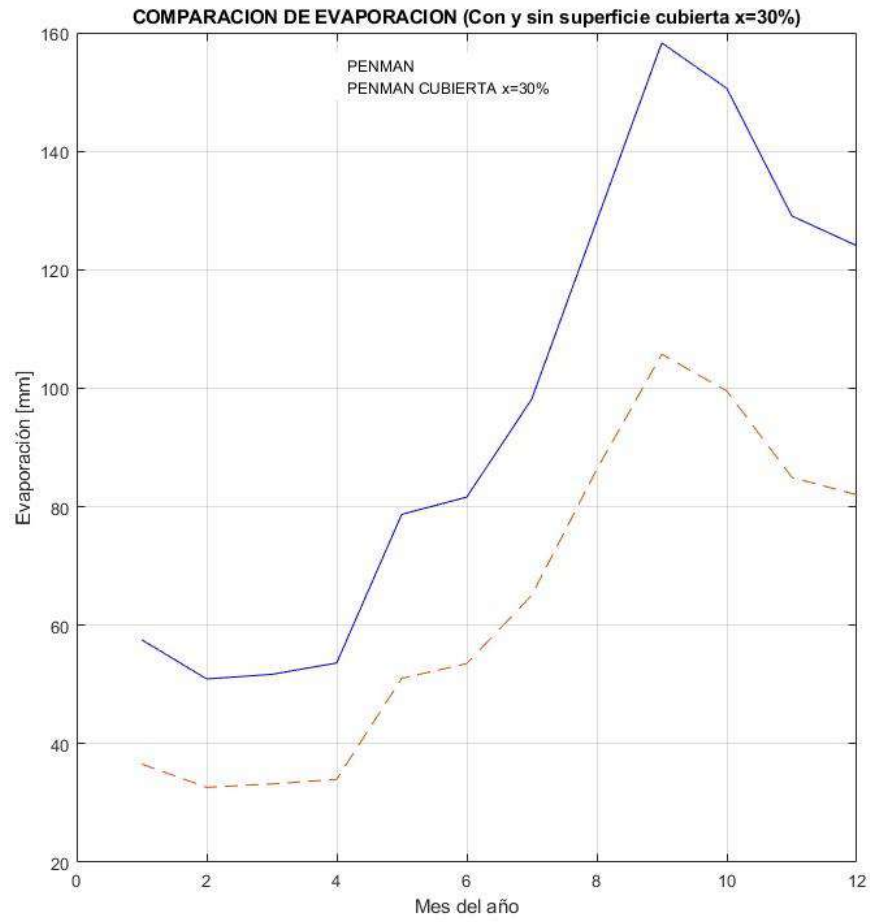
GUALACEO



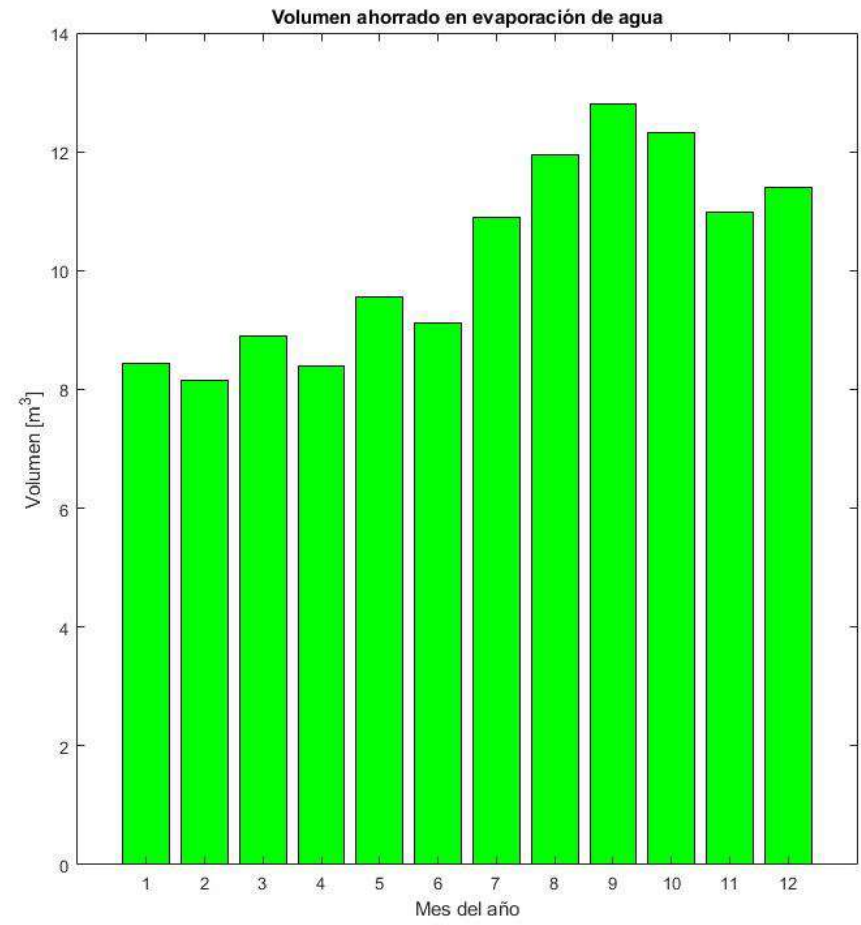
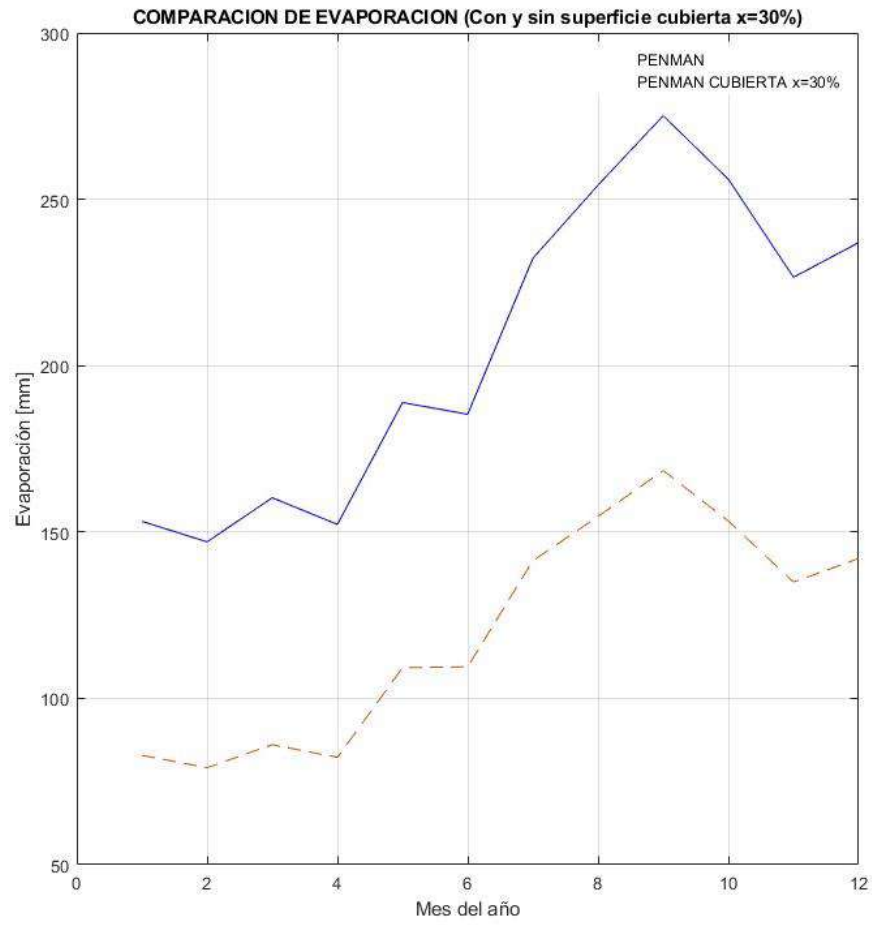
GUANGOPOLO



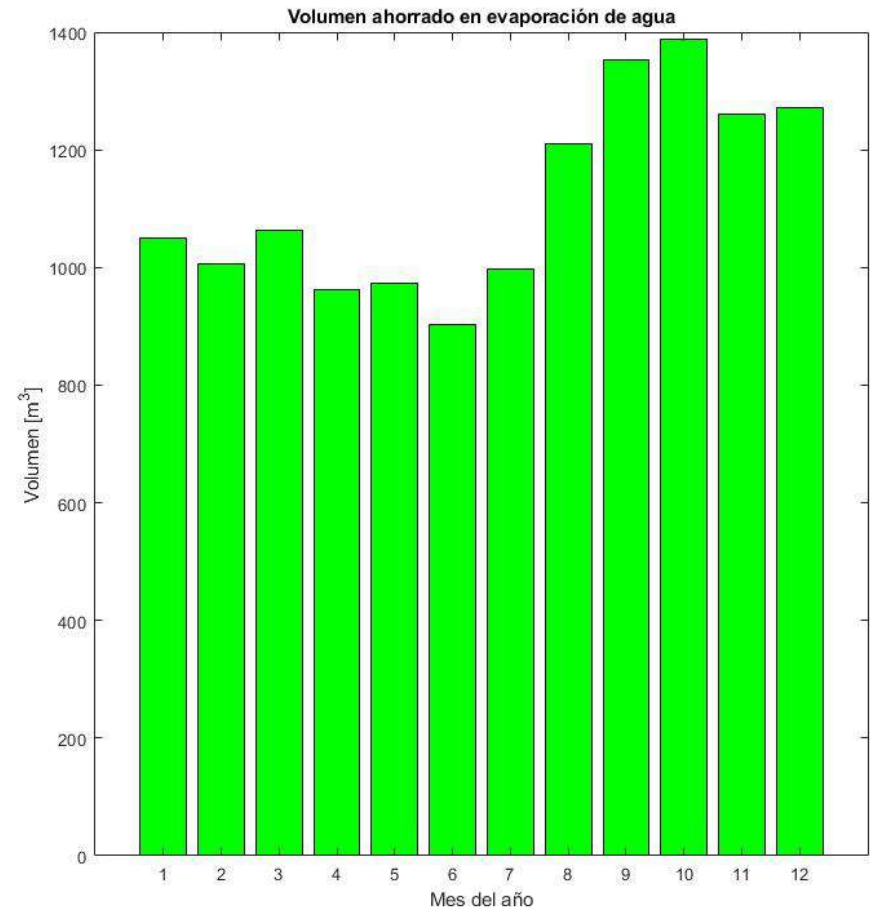
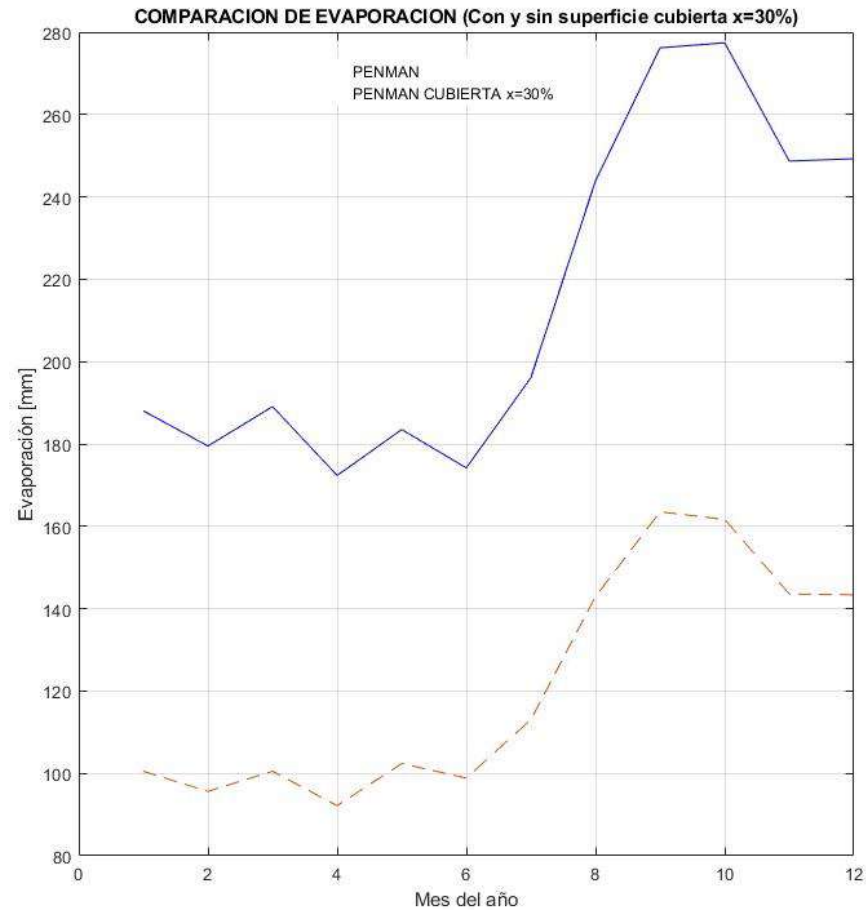
HIDROABANICO



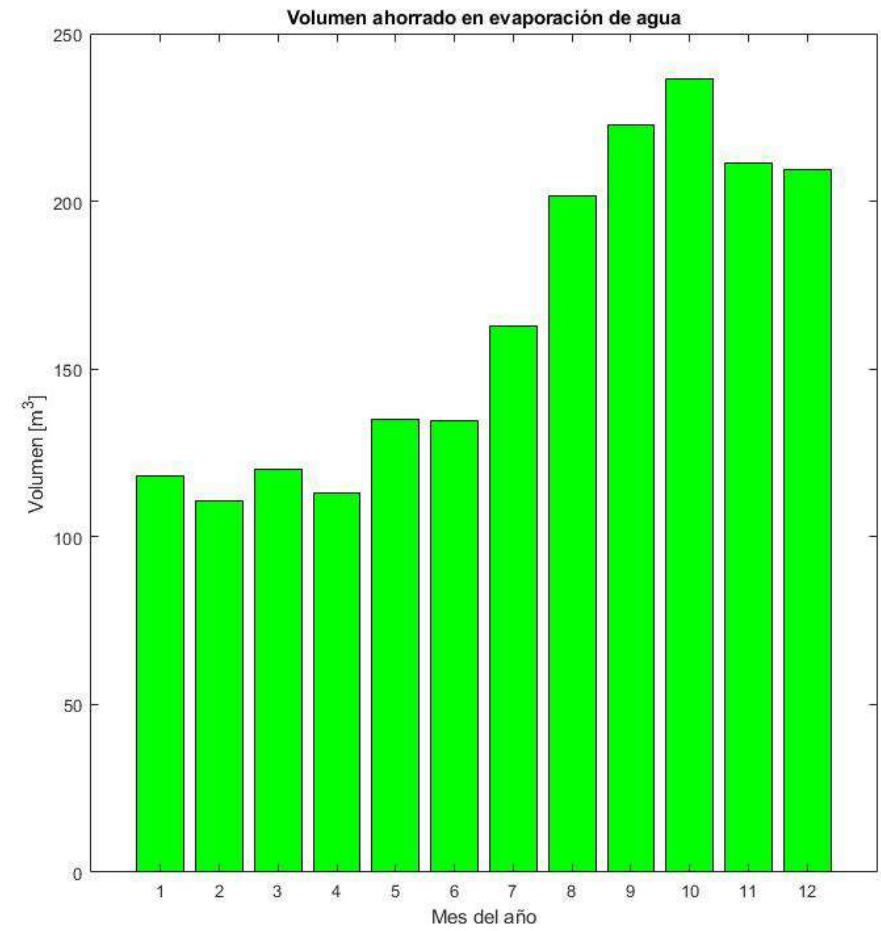
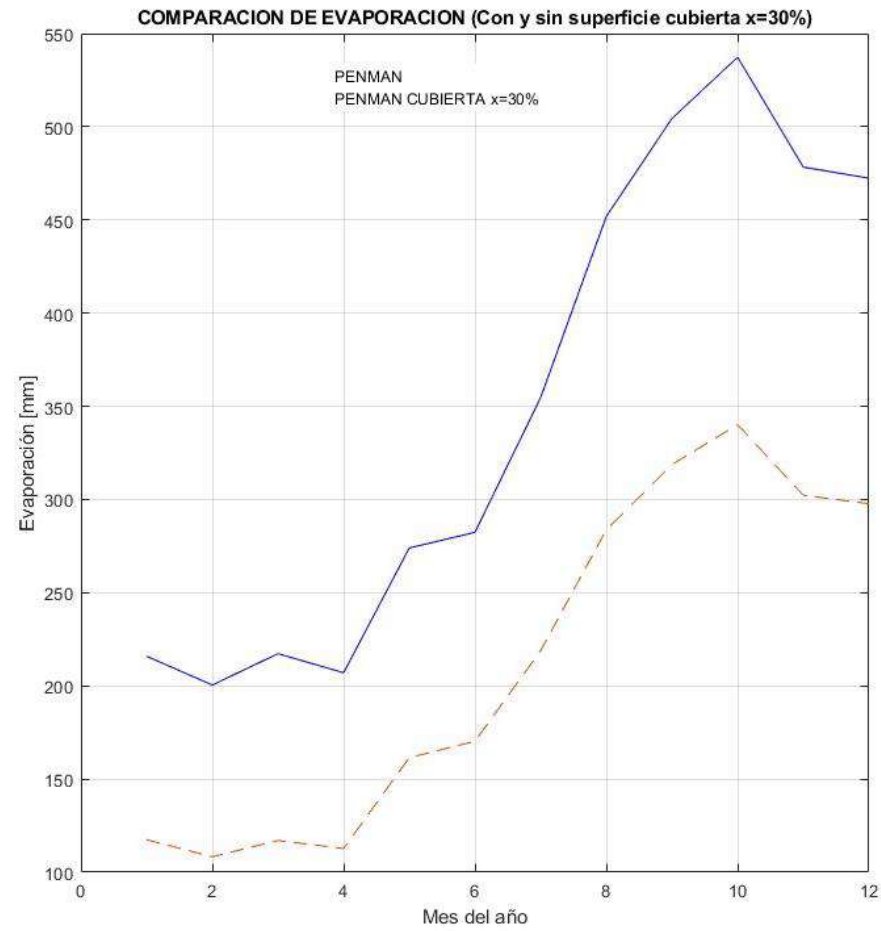
HIDROCAROLINA



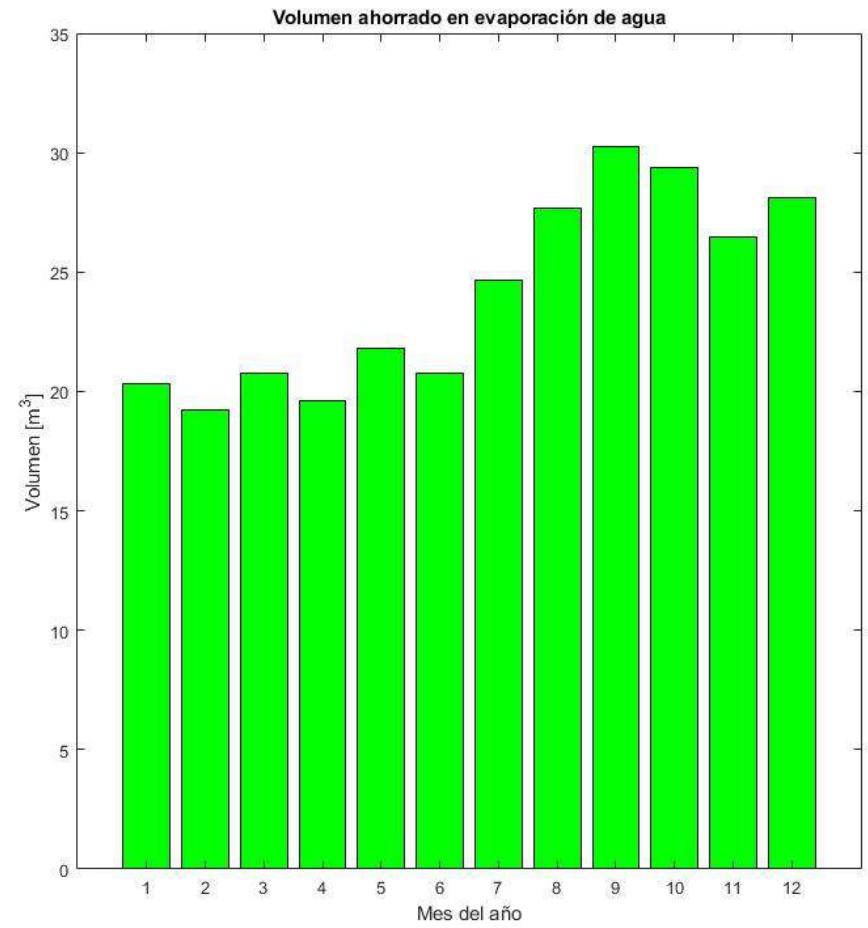
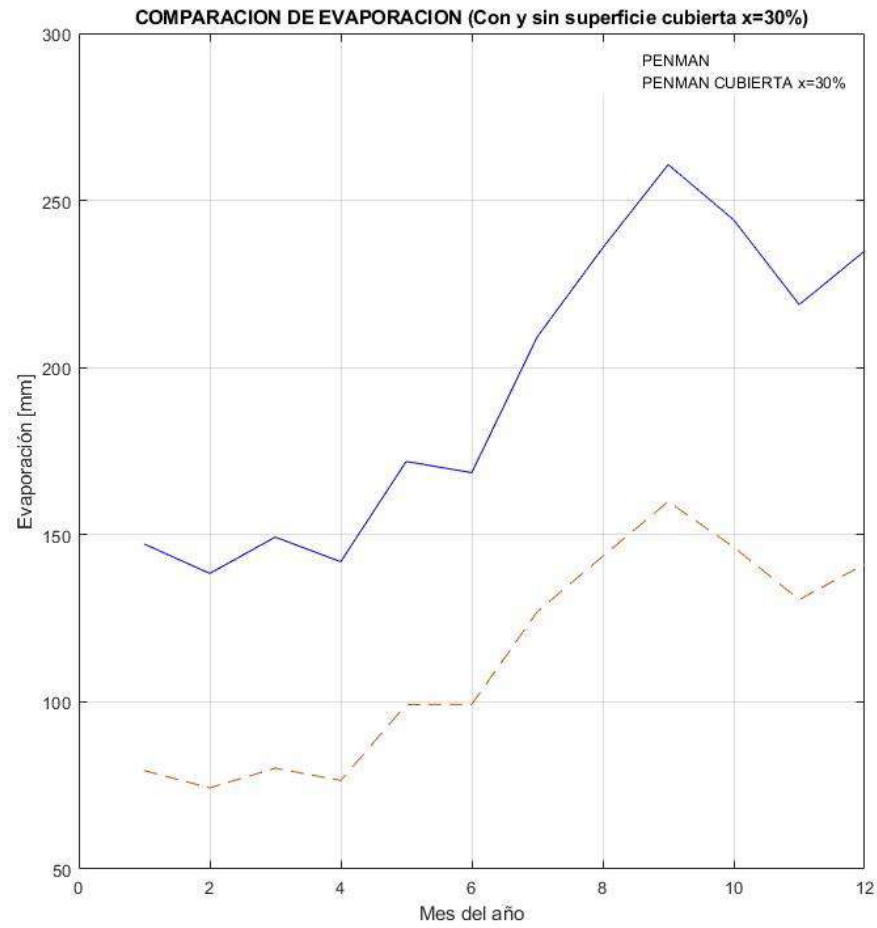
HIDROSANBARTOLO



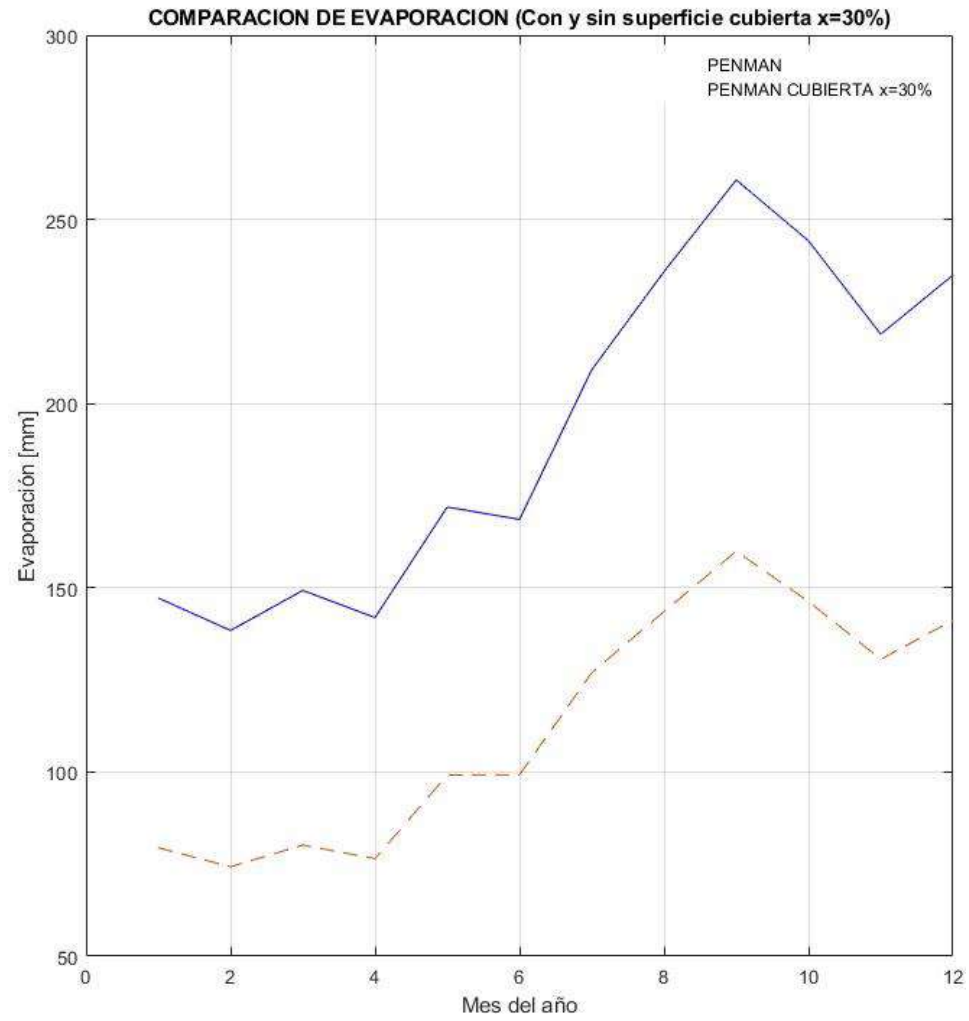
HIDROTAMBO



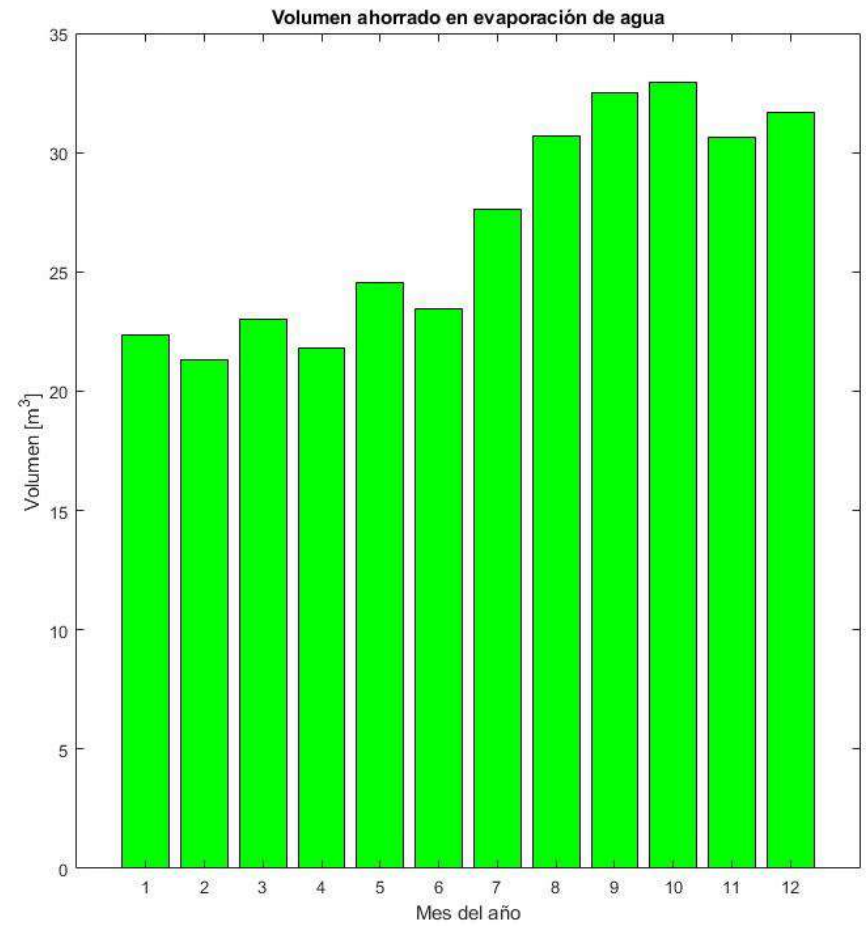
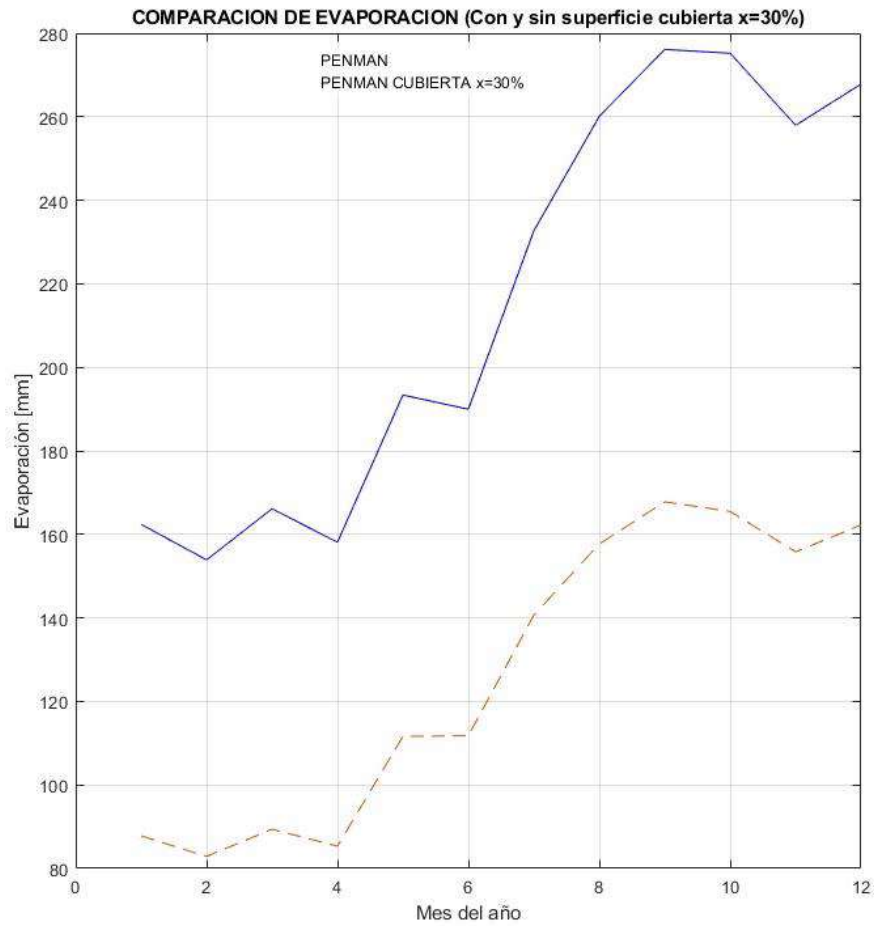
ILLUCHI-1



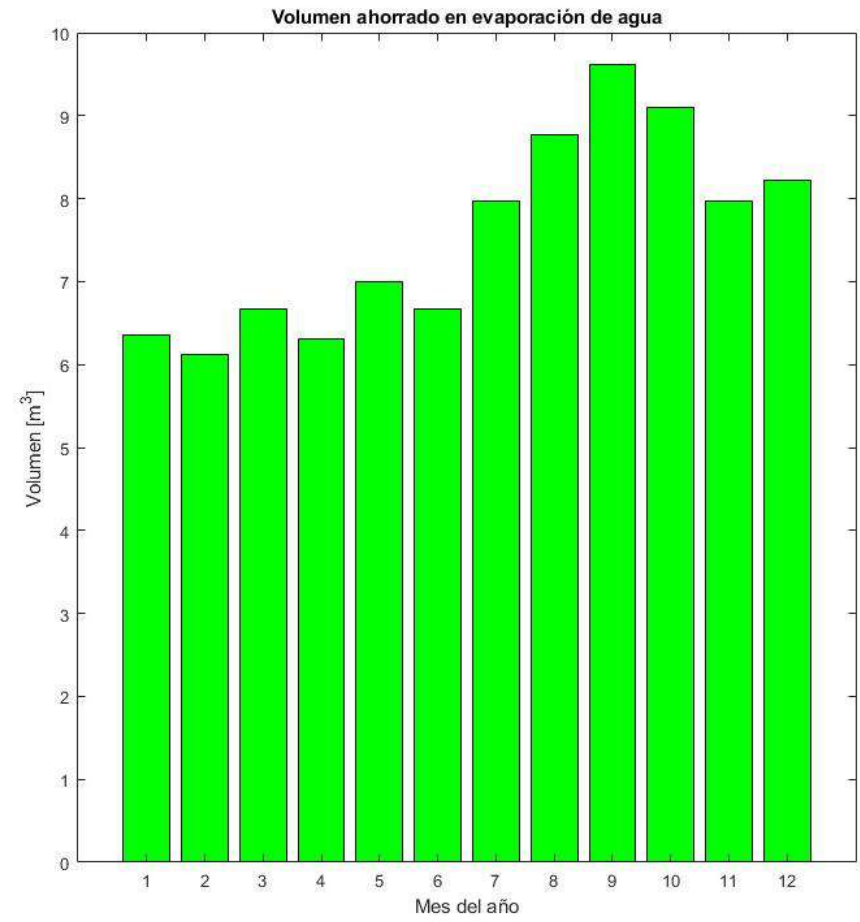
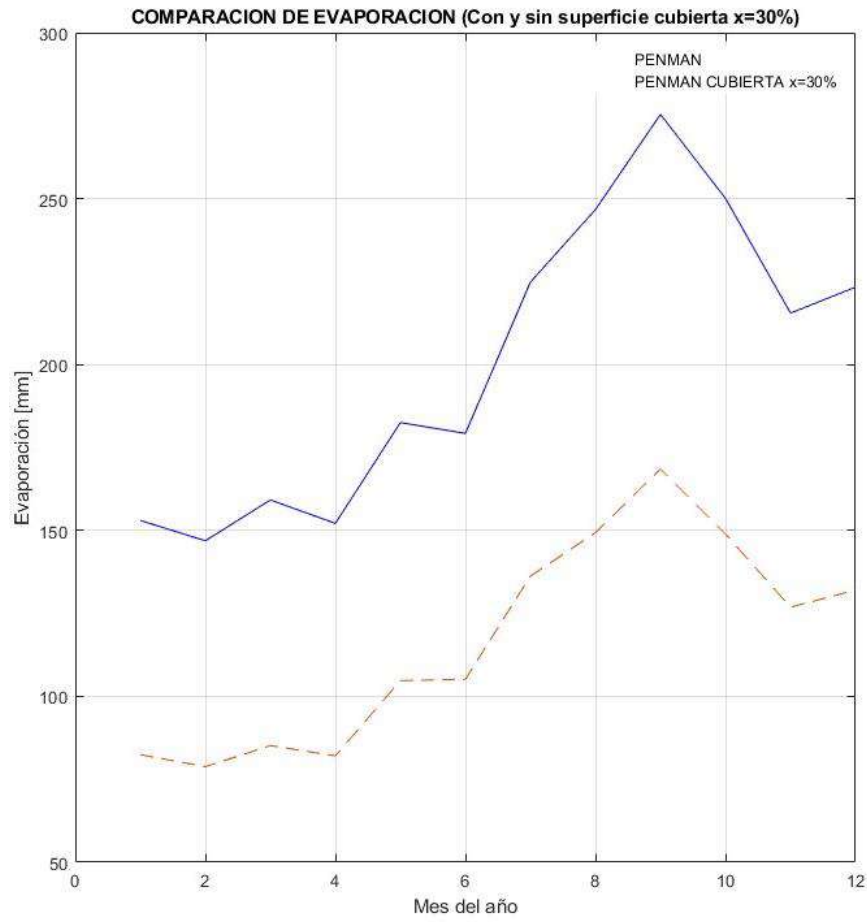
ILLUCHI-2



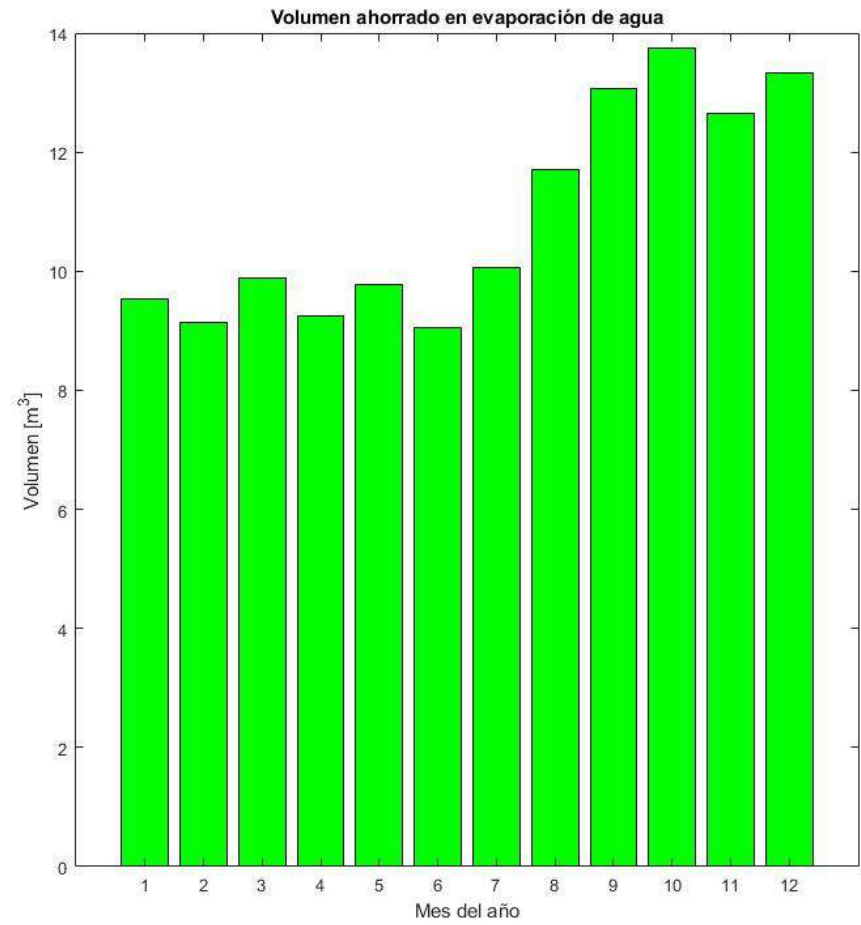
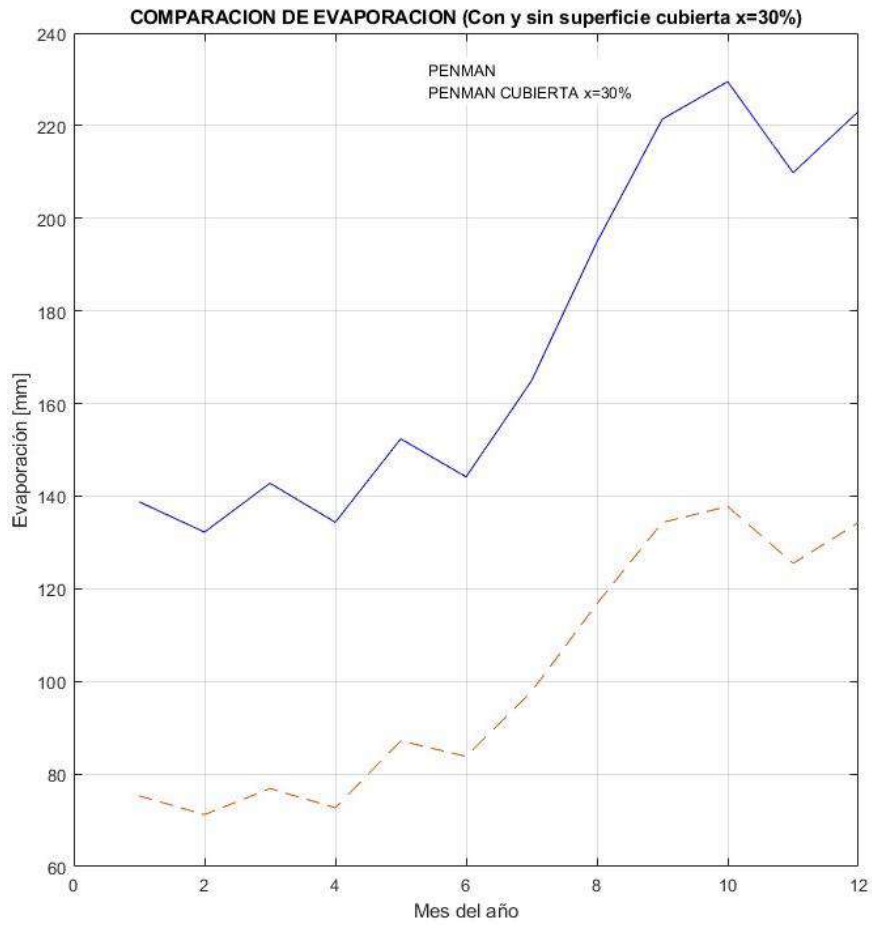
LA CALERA



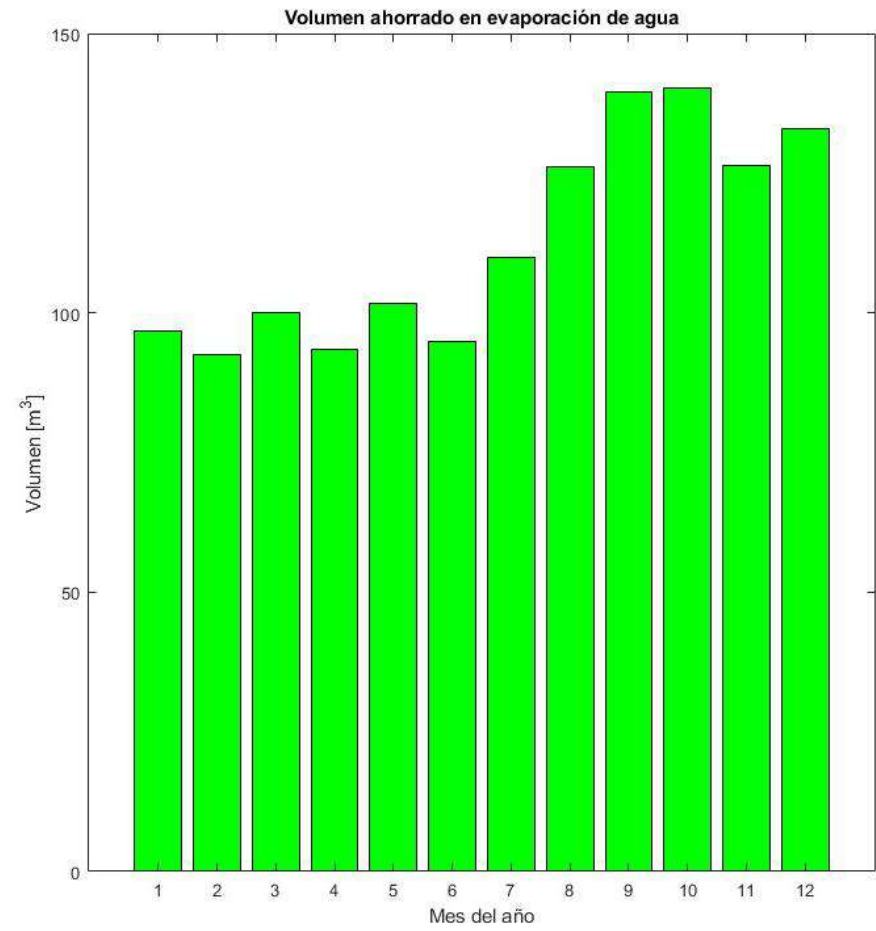
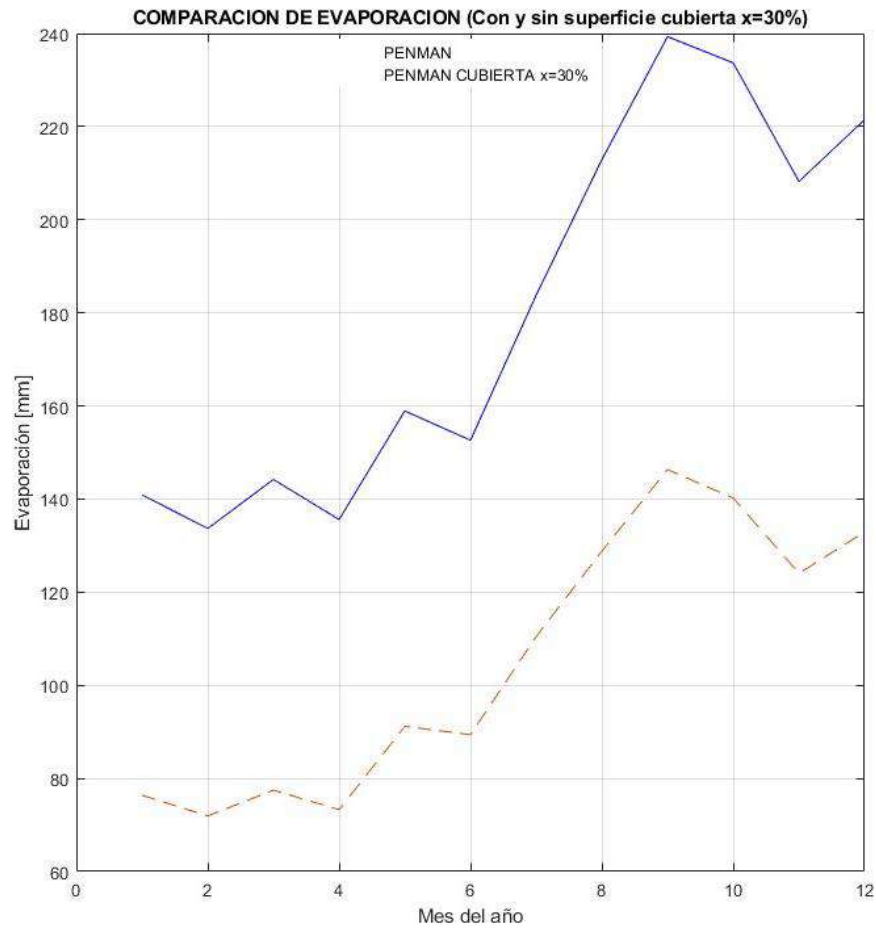
LA PLAYA



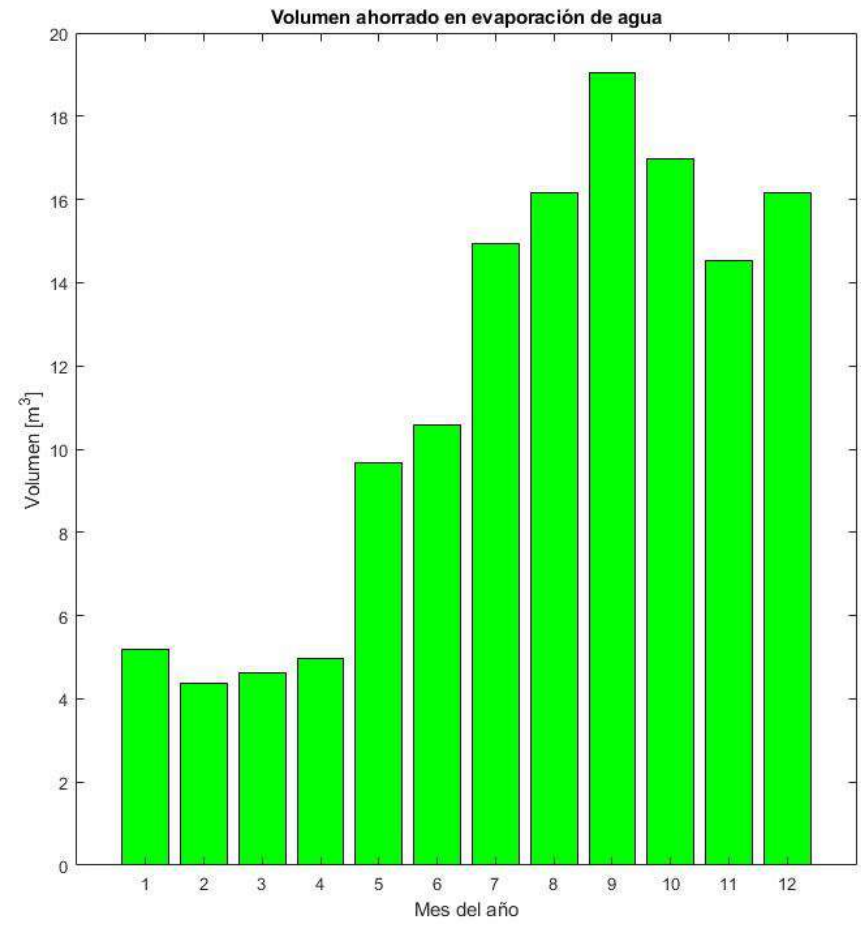
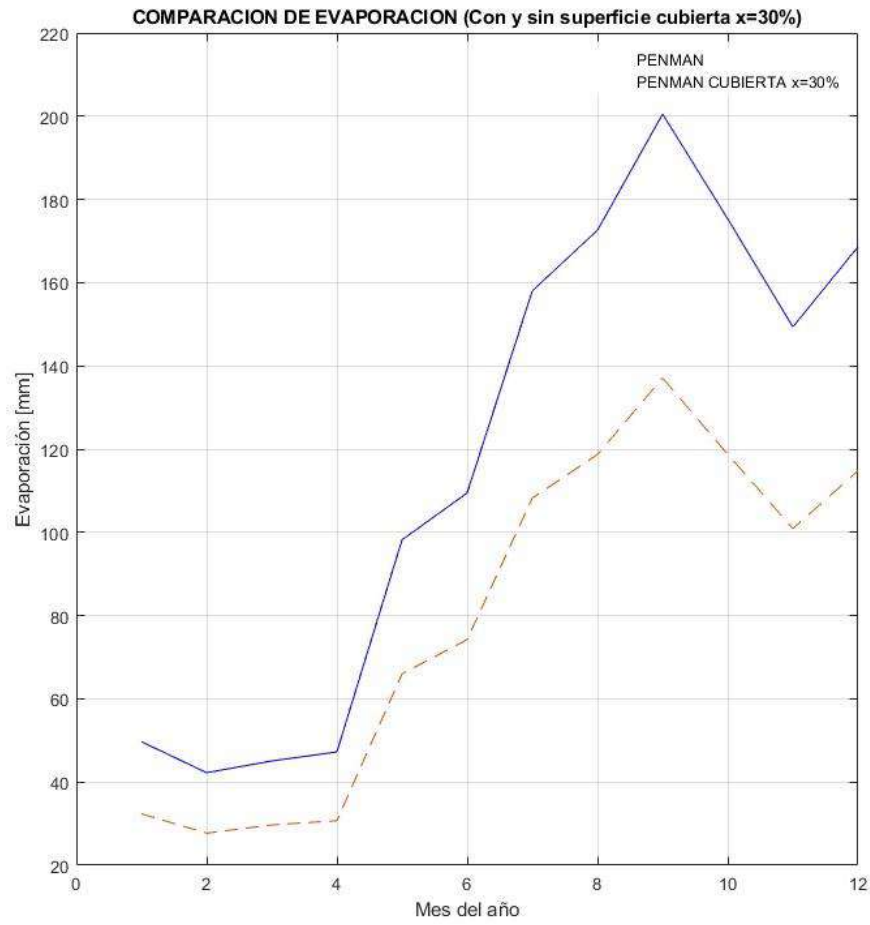
LOS CHILLOS



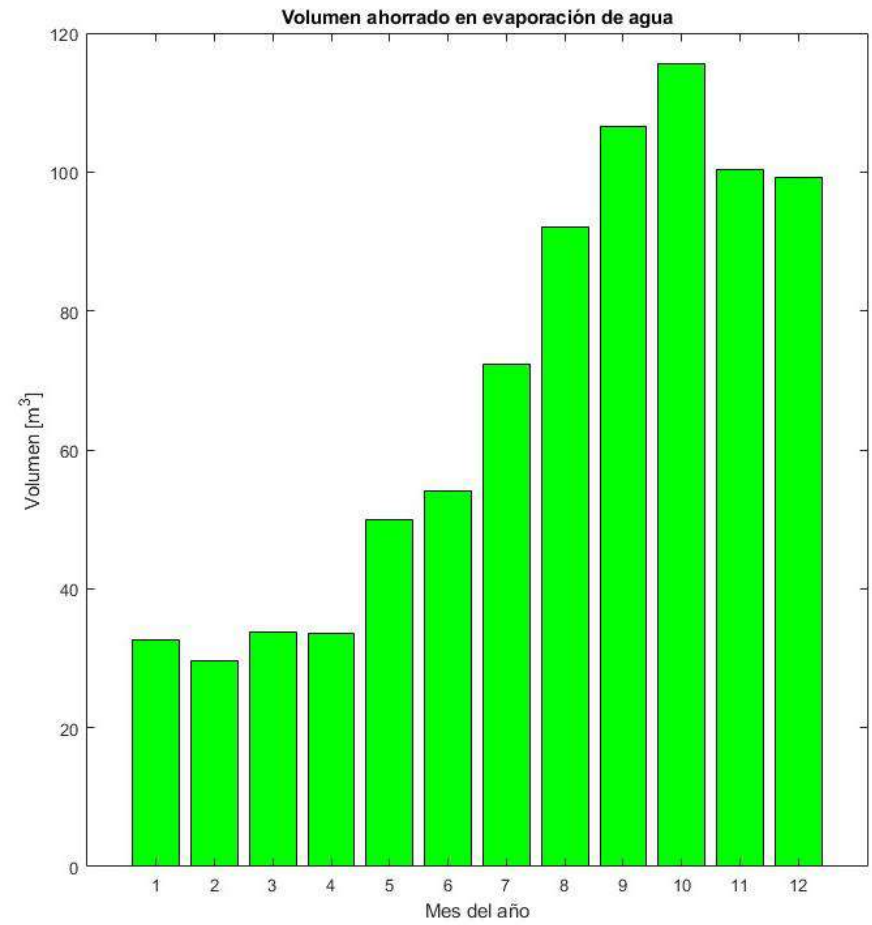
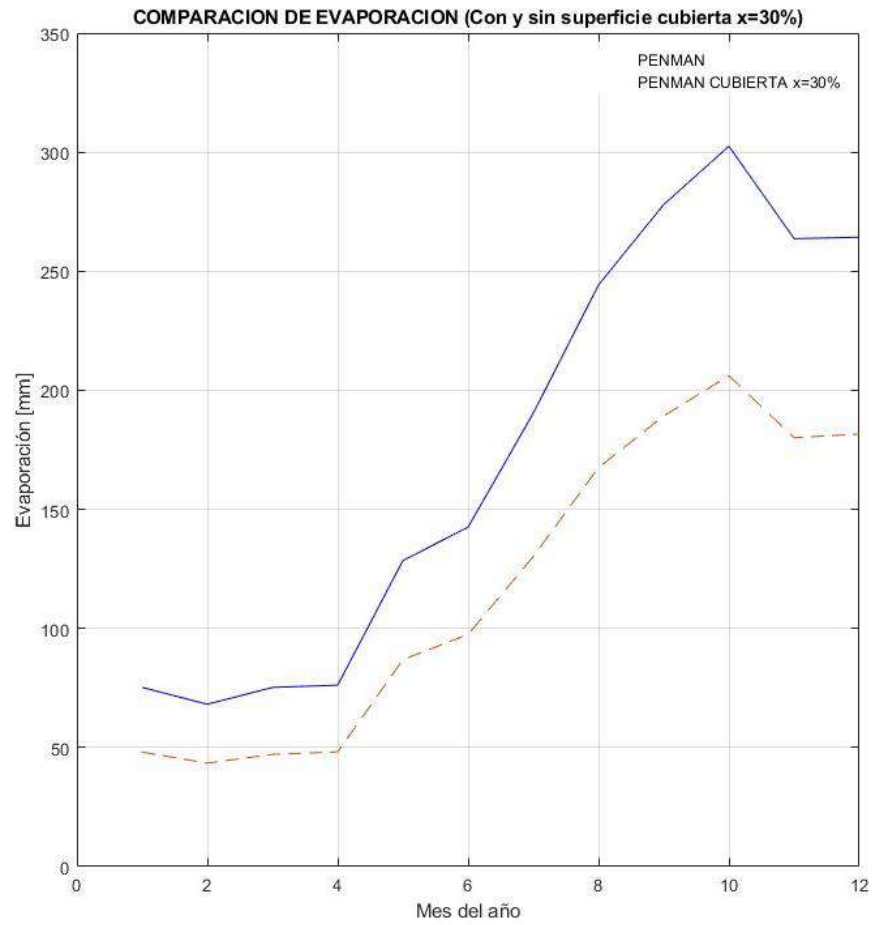
NAYON



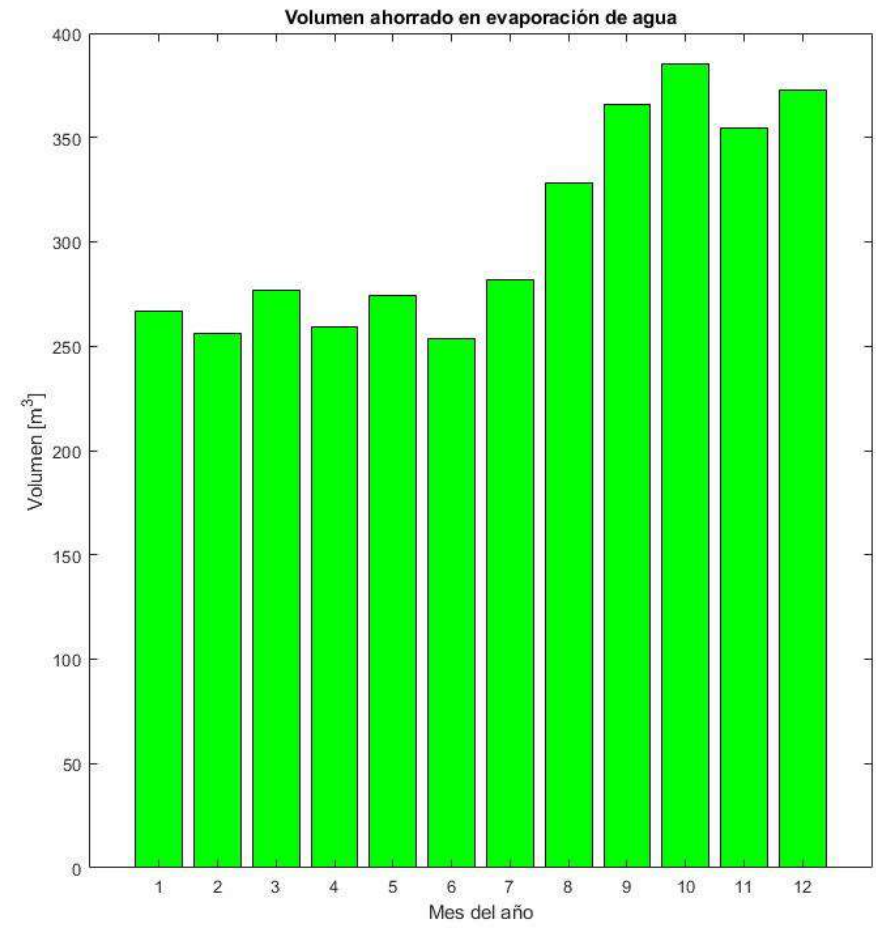
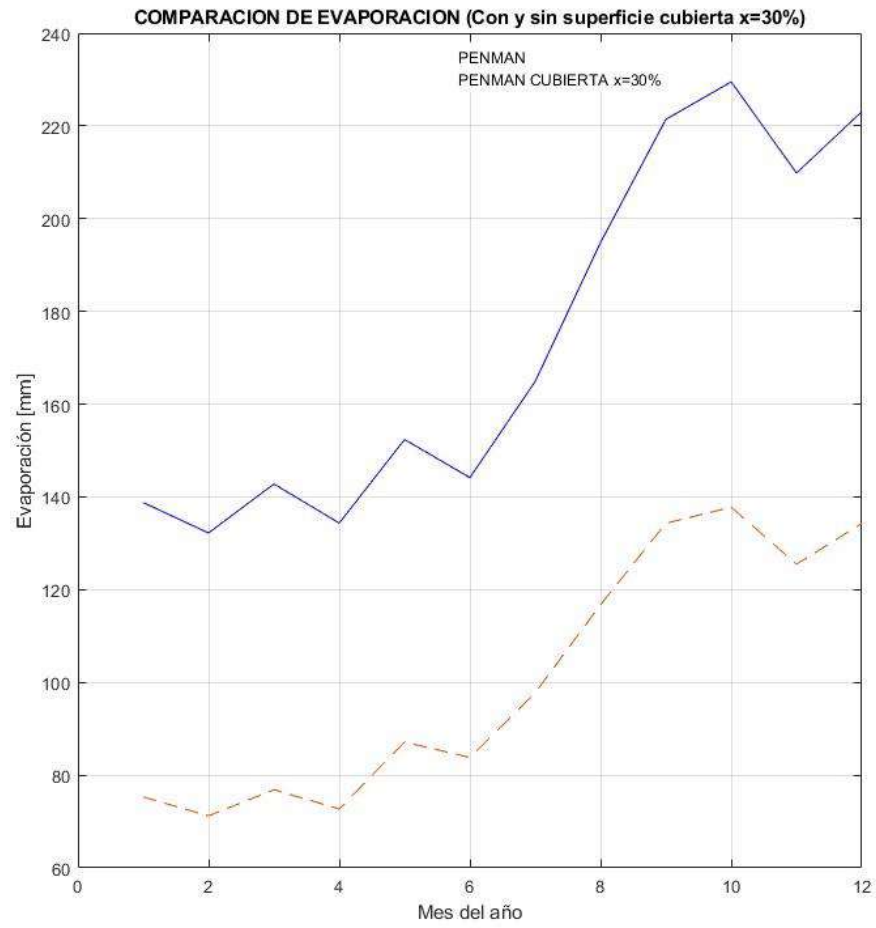
NIZAG



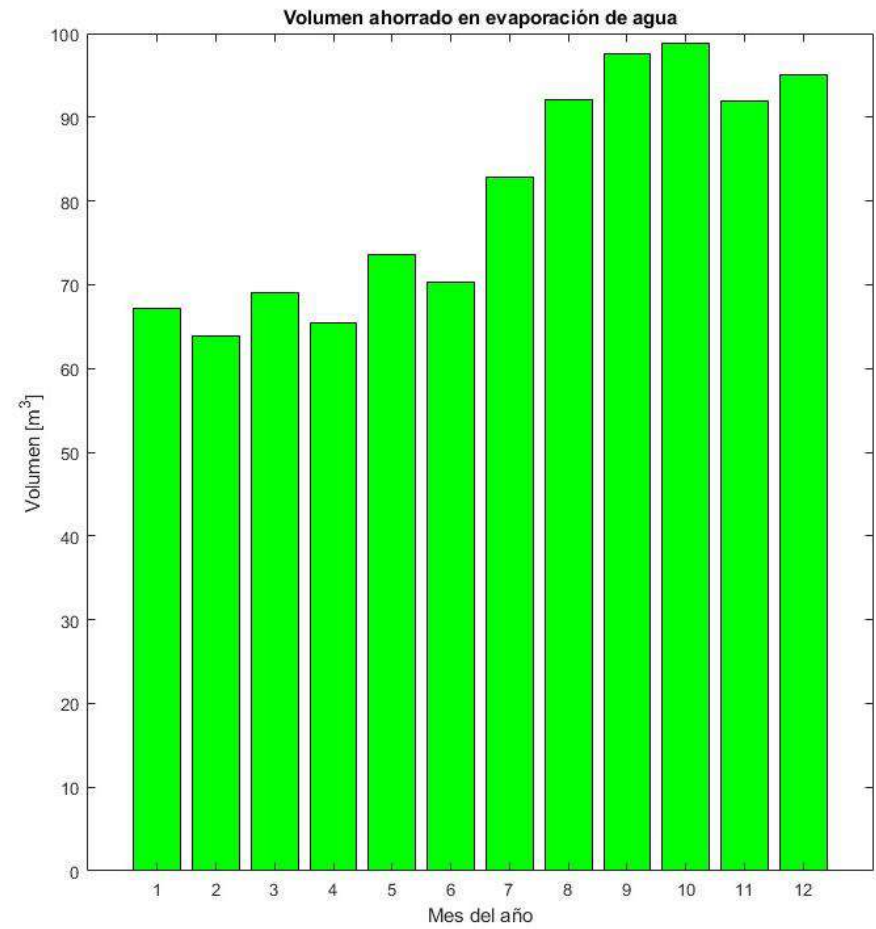
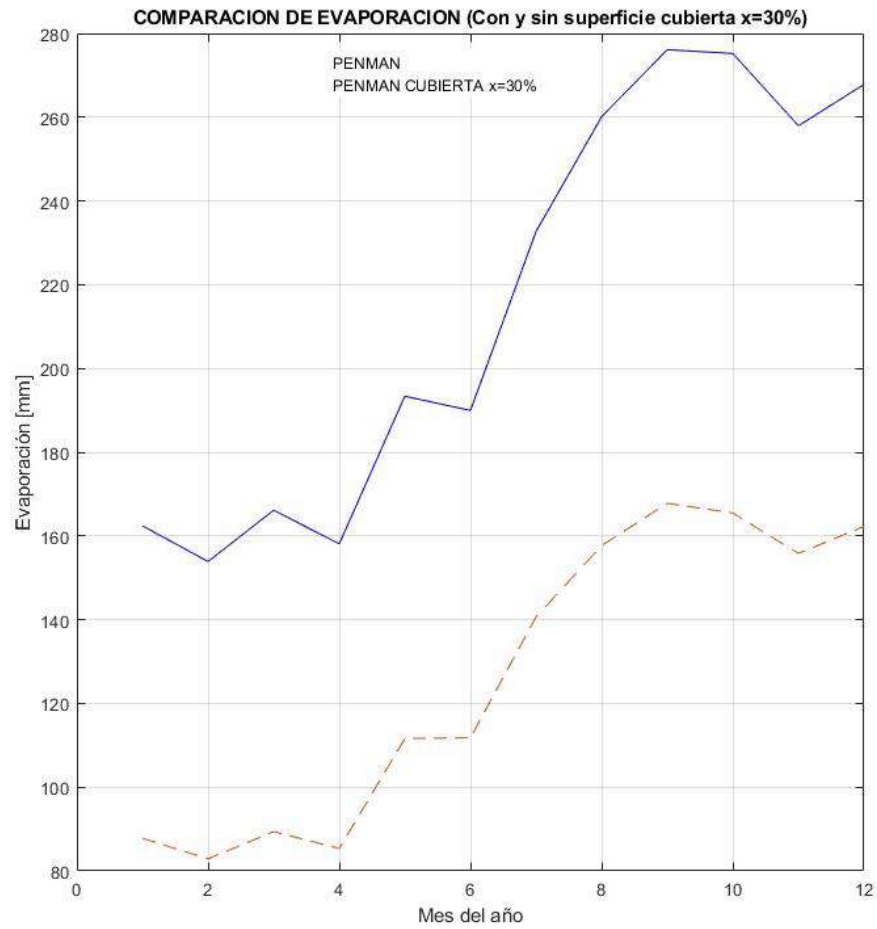
OCAÑA



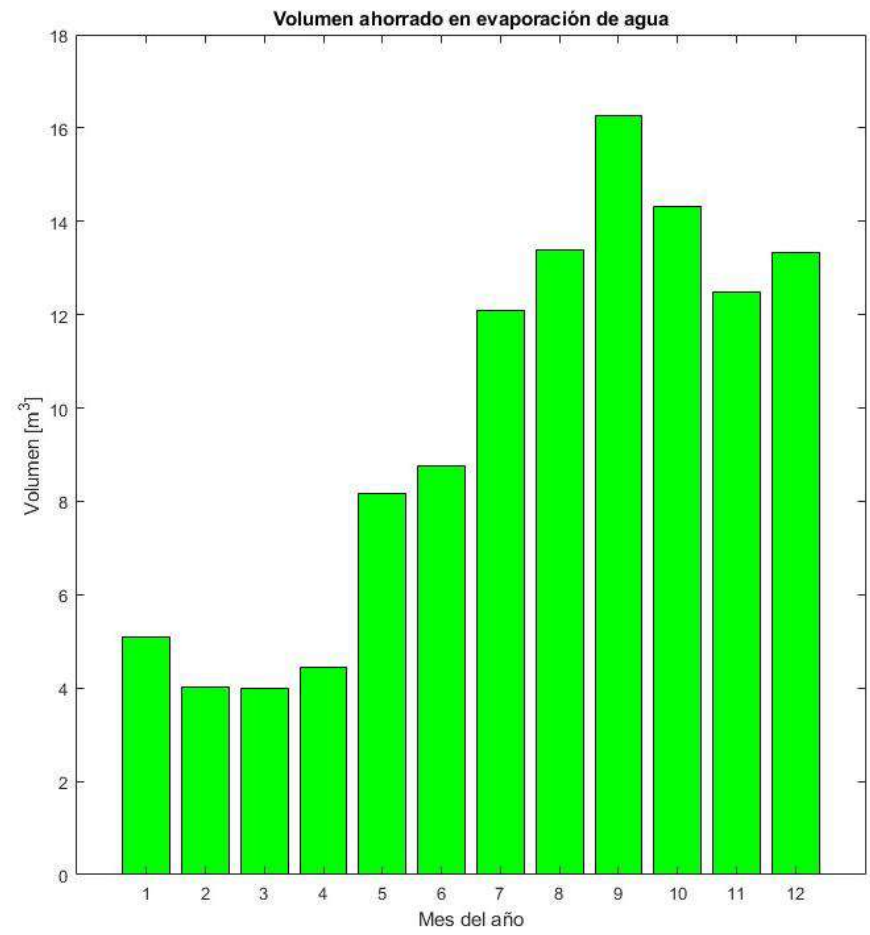
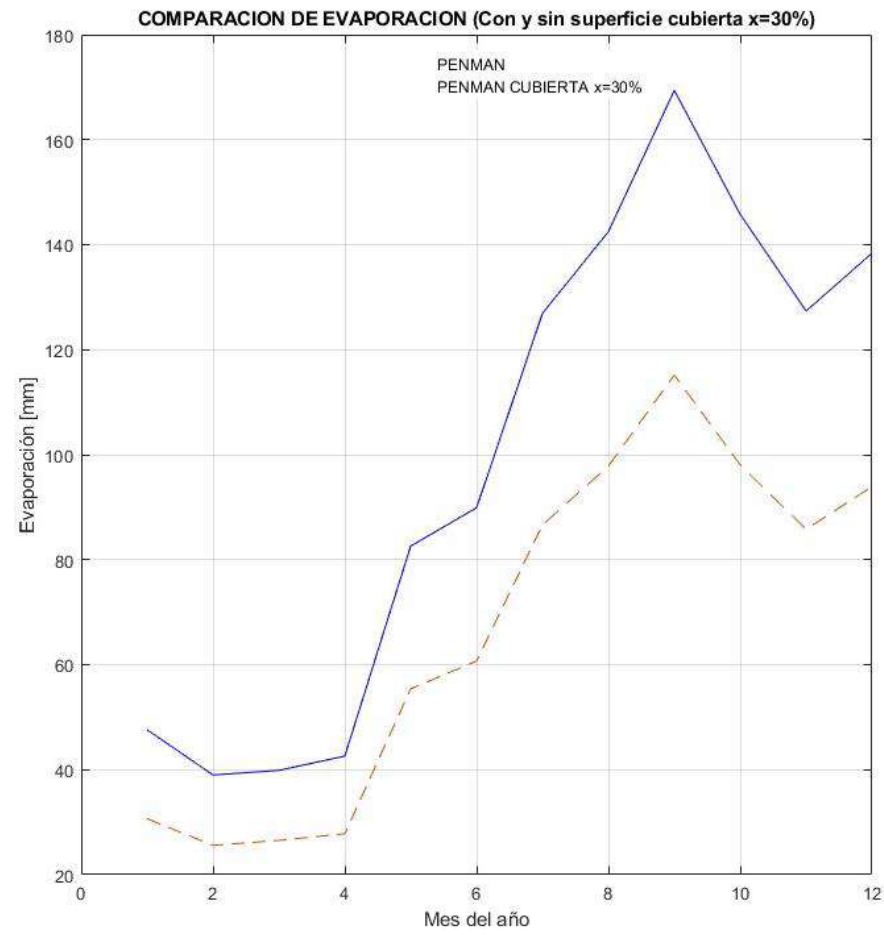
PAPALLACTA



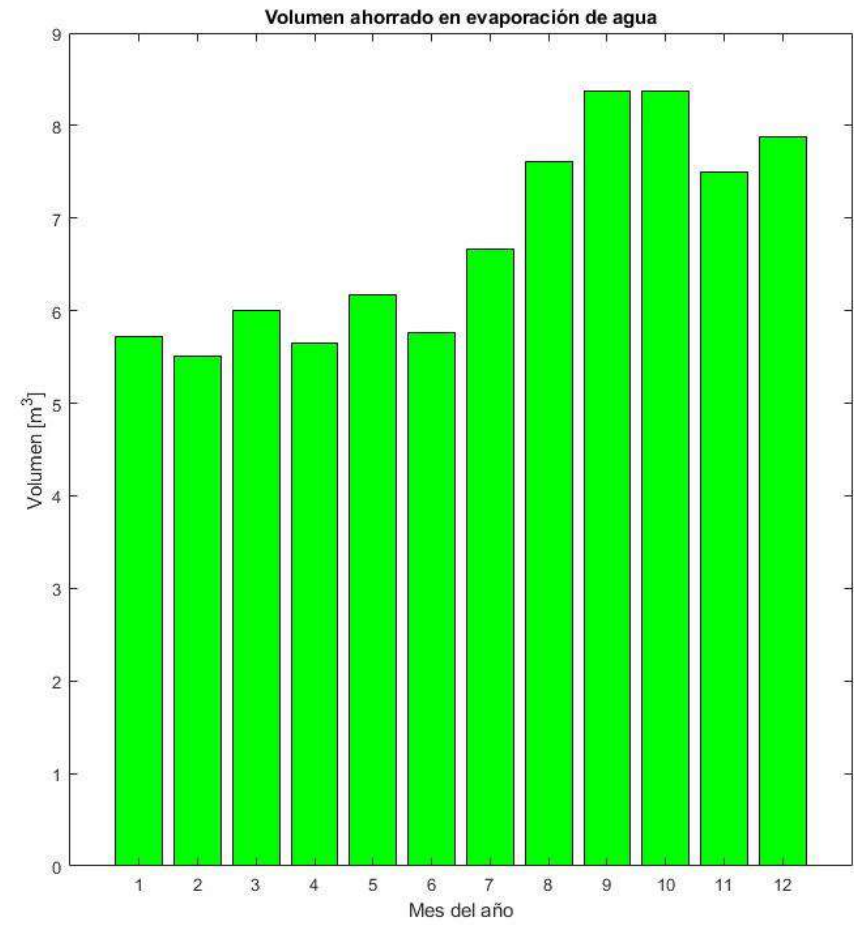
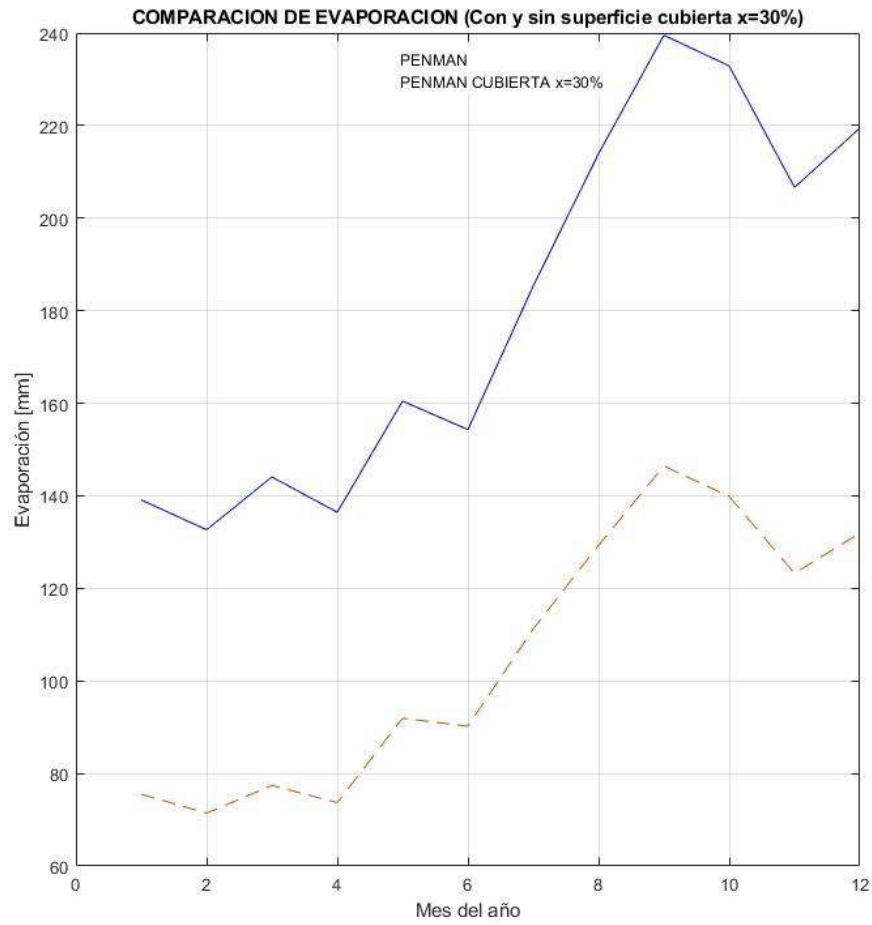
PASOCHOA



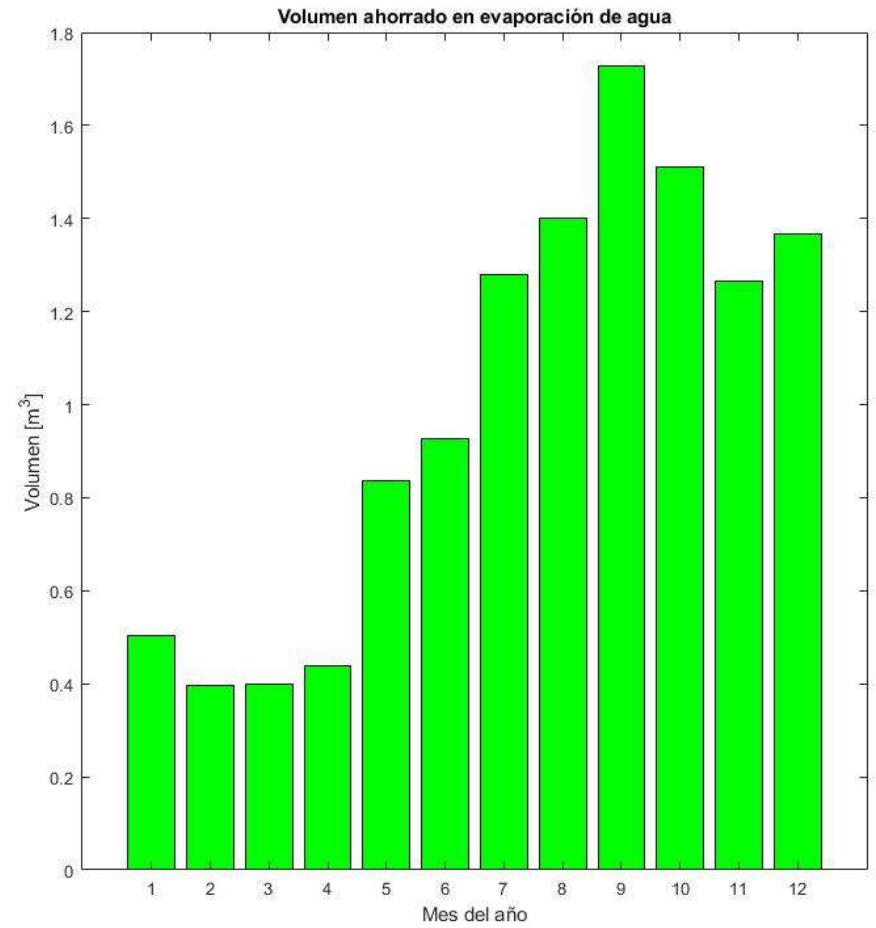
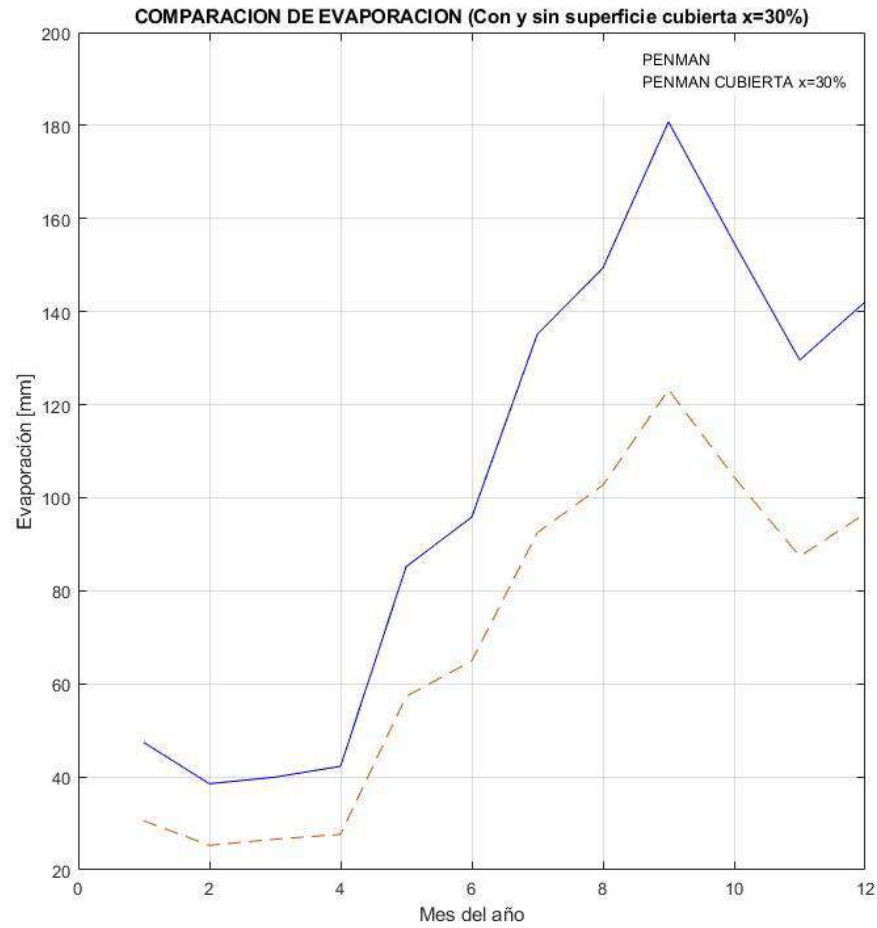
PENINSULA



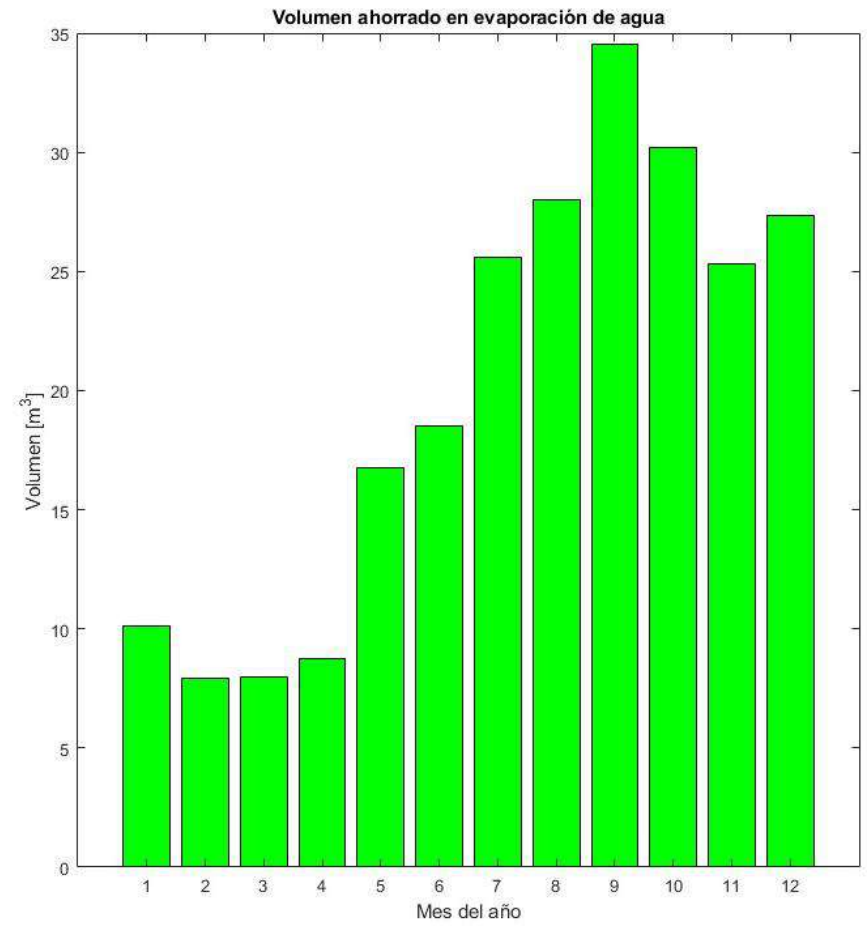
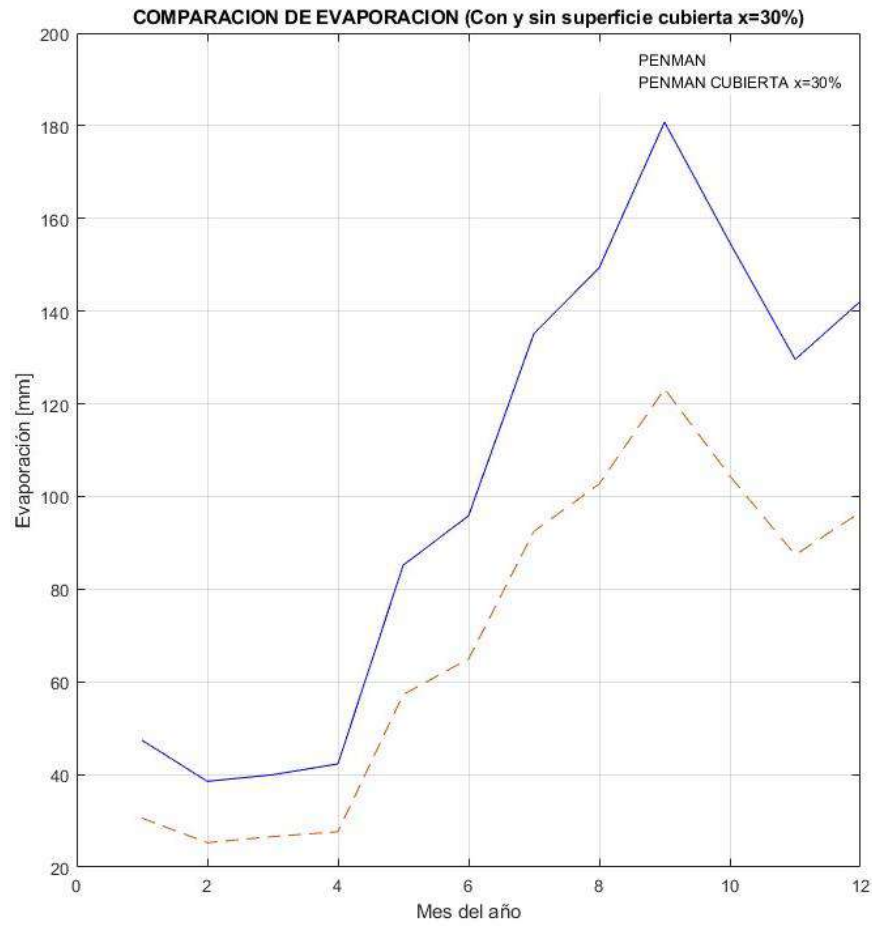
PERLABI



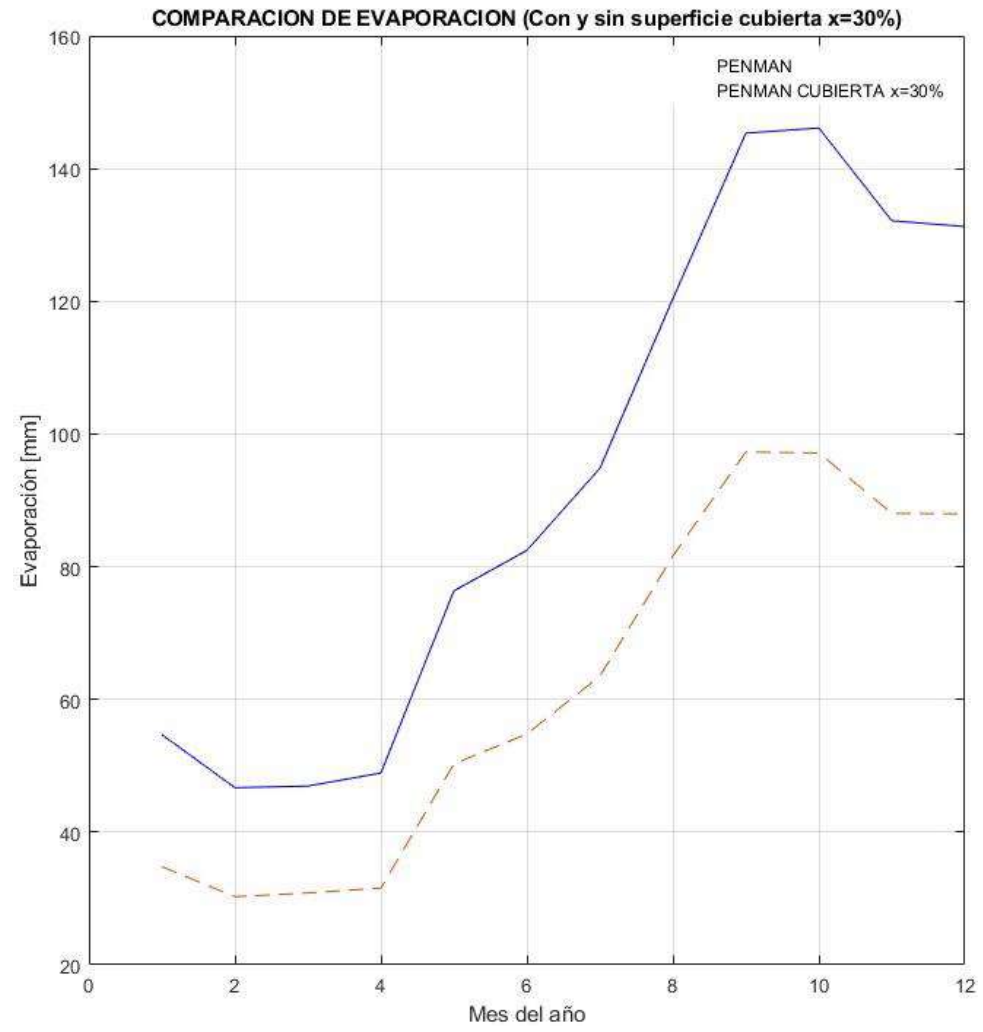
PLANTA CHIMBORAZO



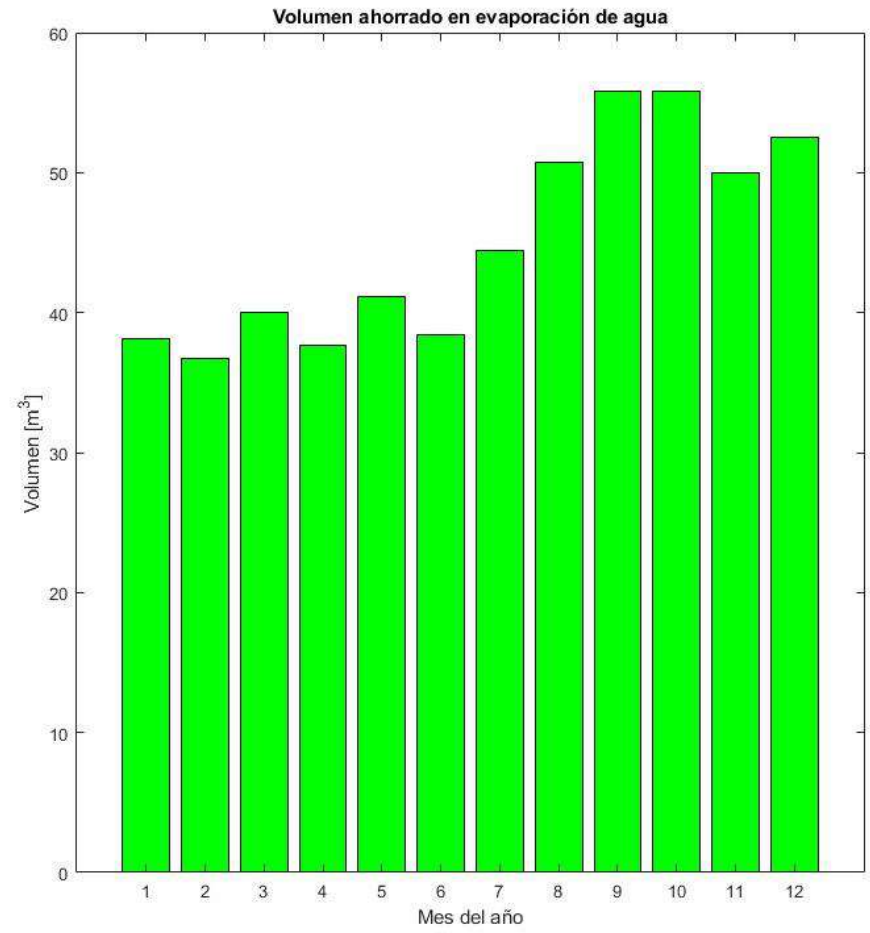
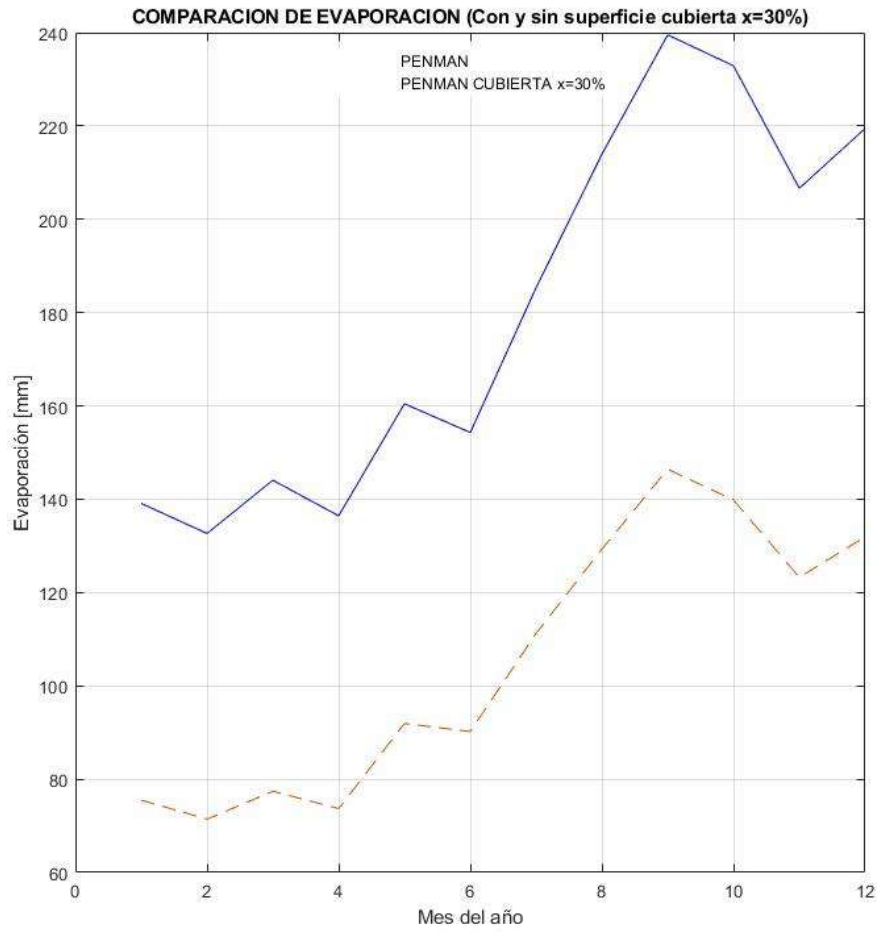
RIO BLANCO



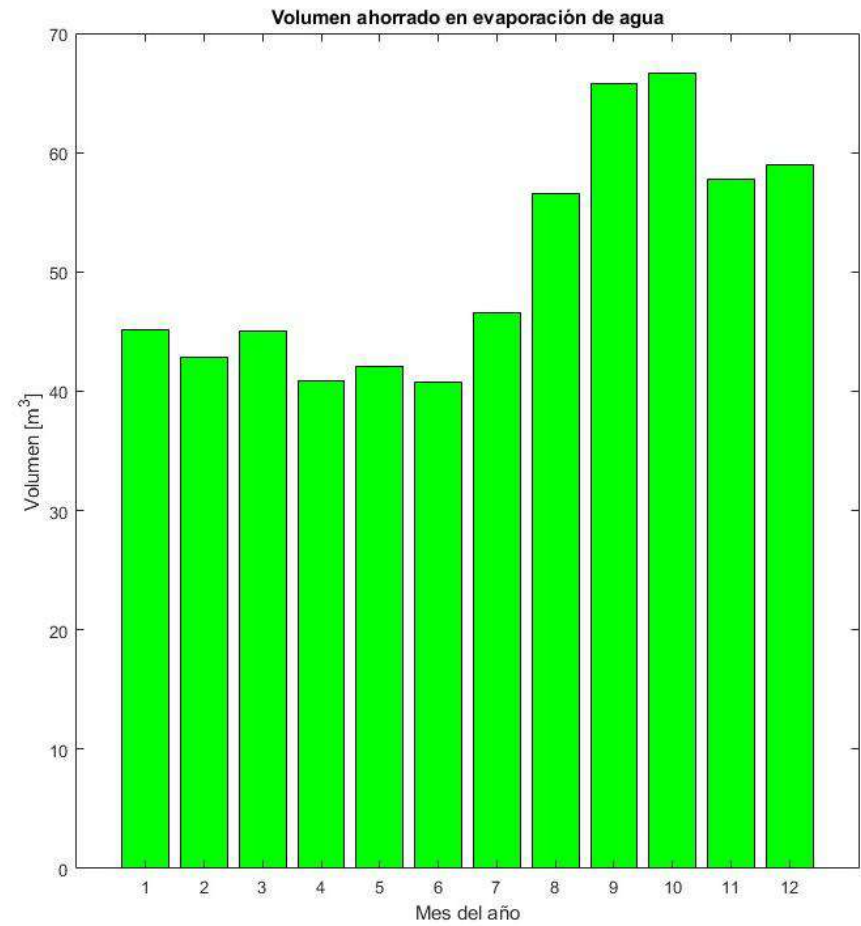
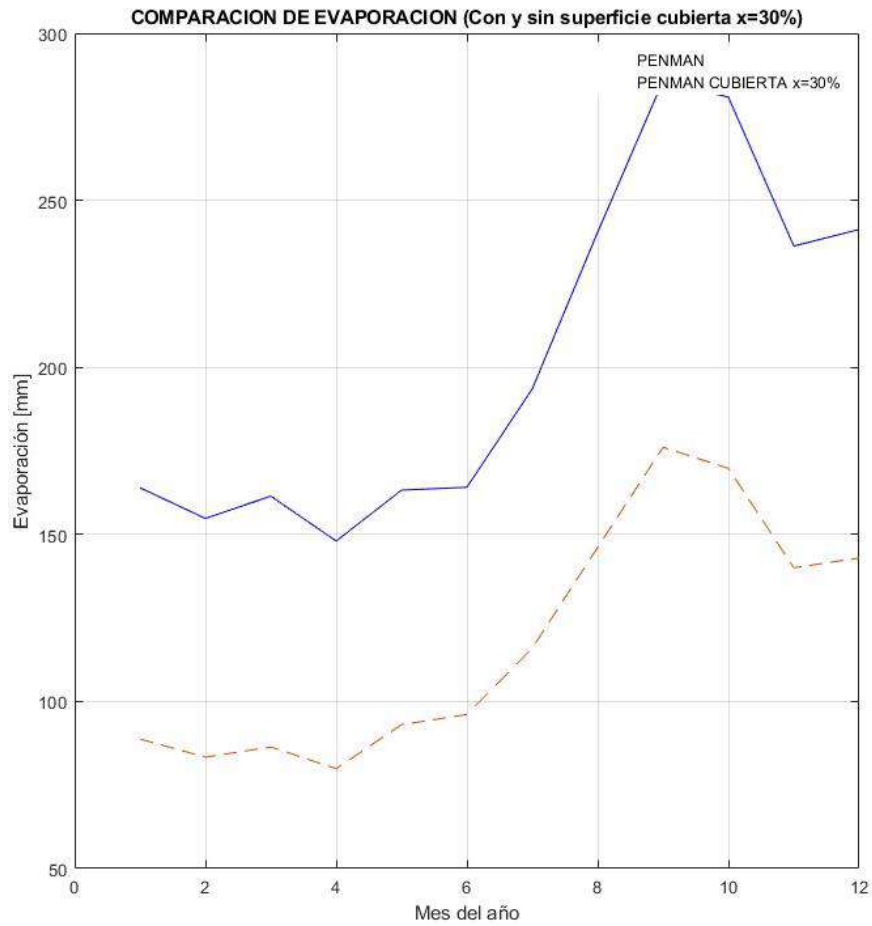
SAN FRANCISCO



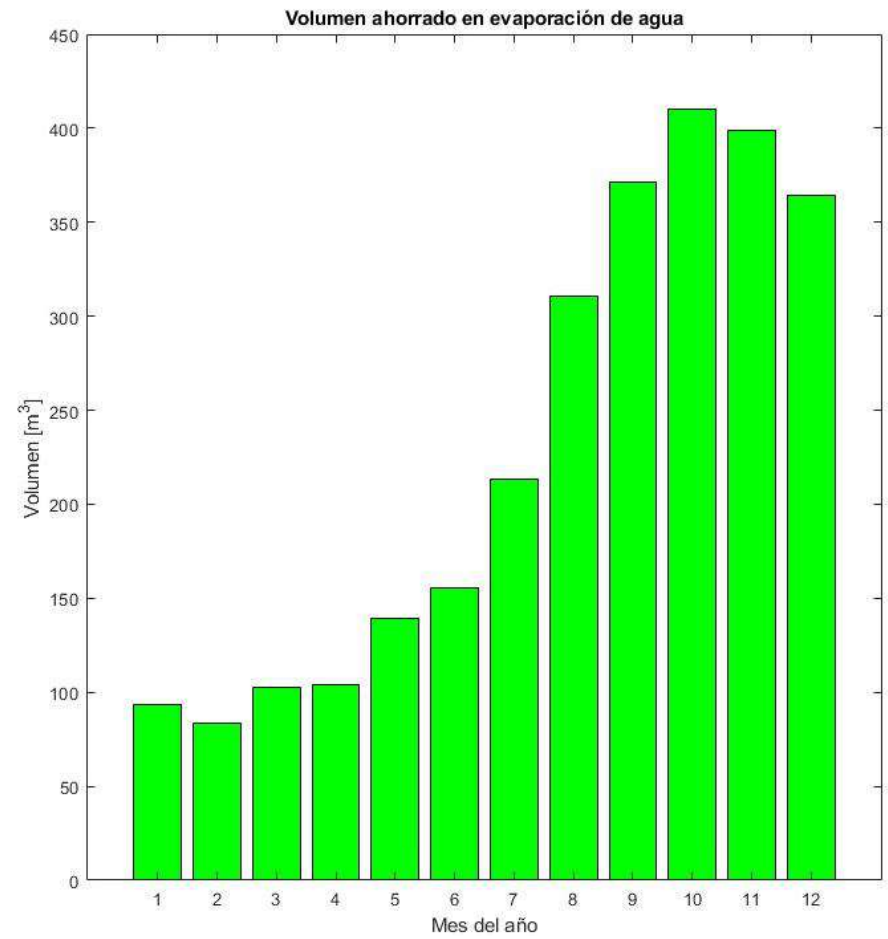
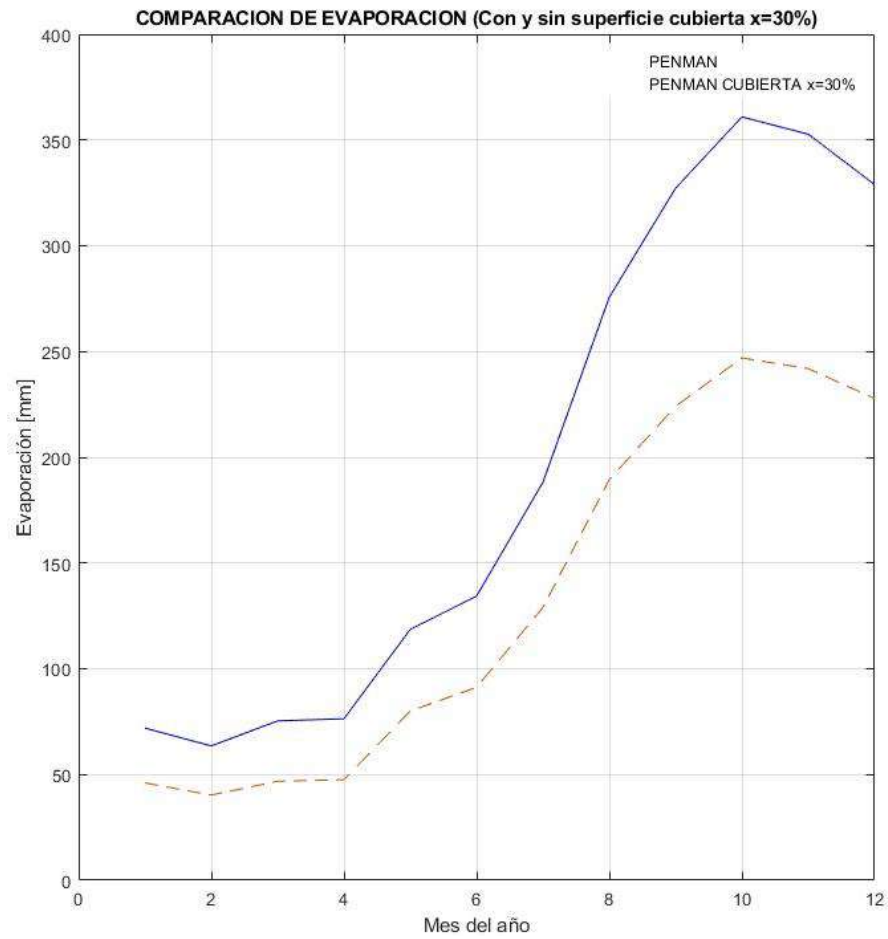
SAN MIGUEL DE CAR



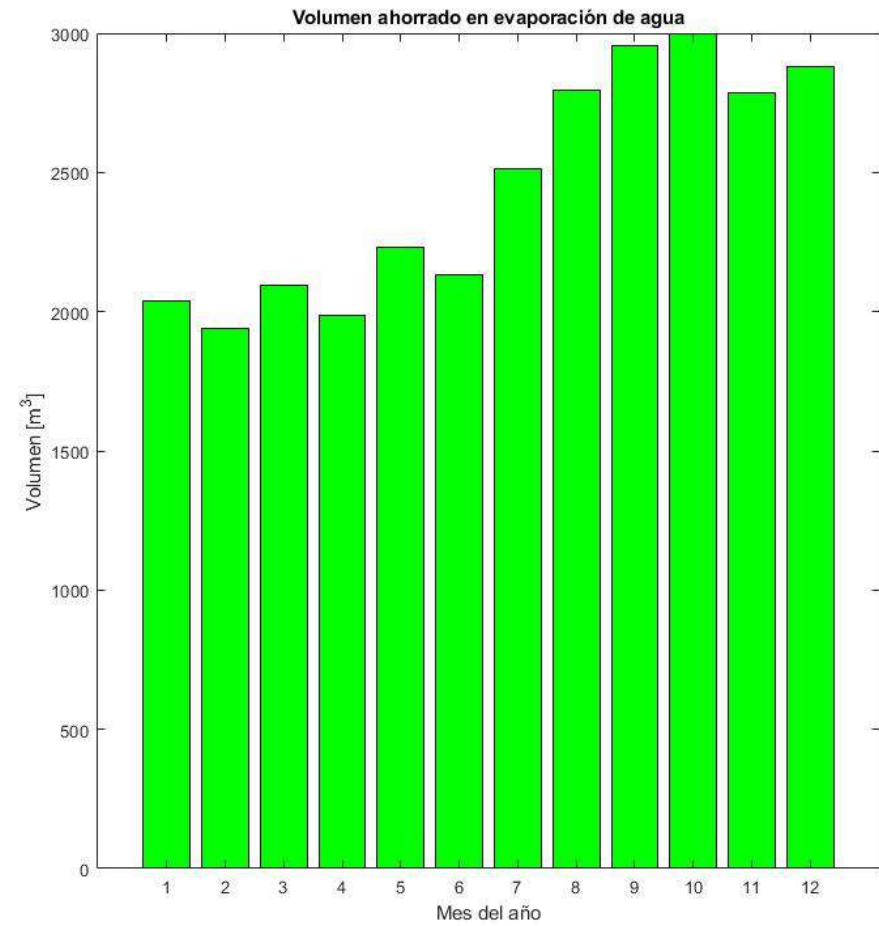
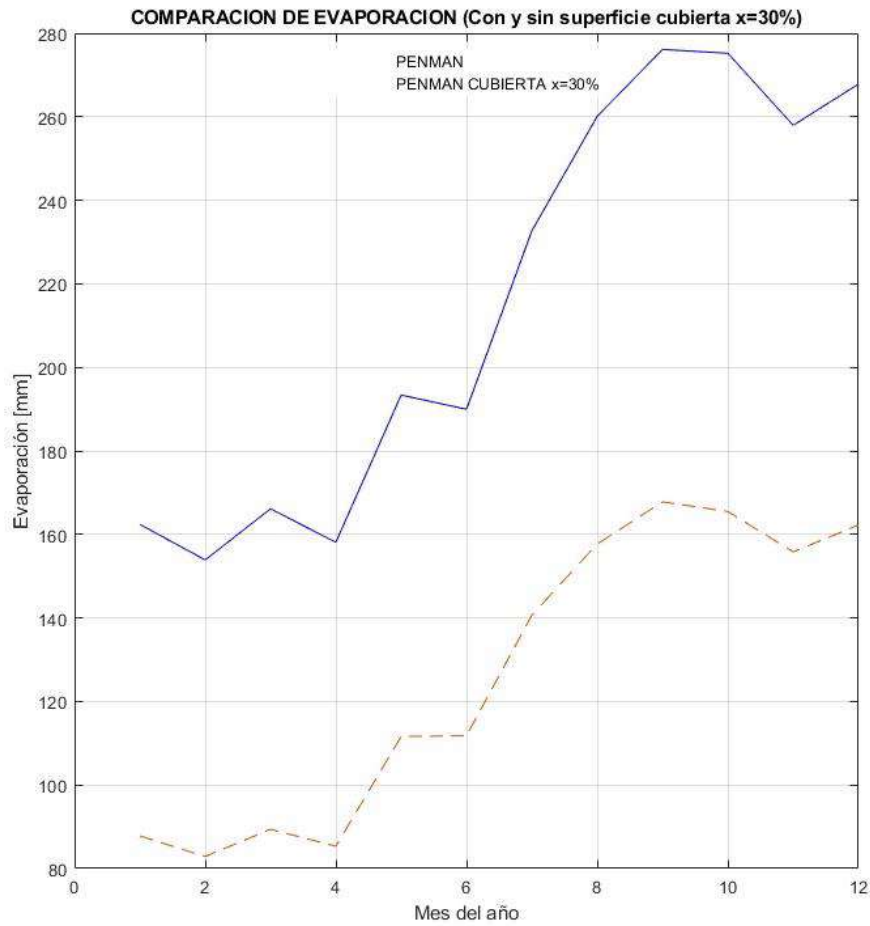
SAYMIRIN



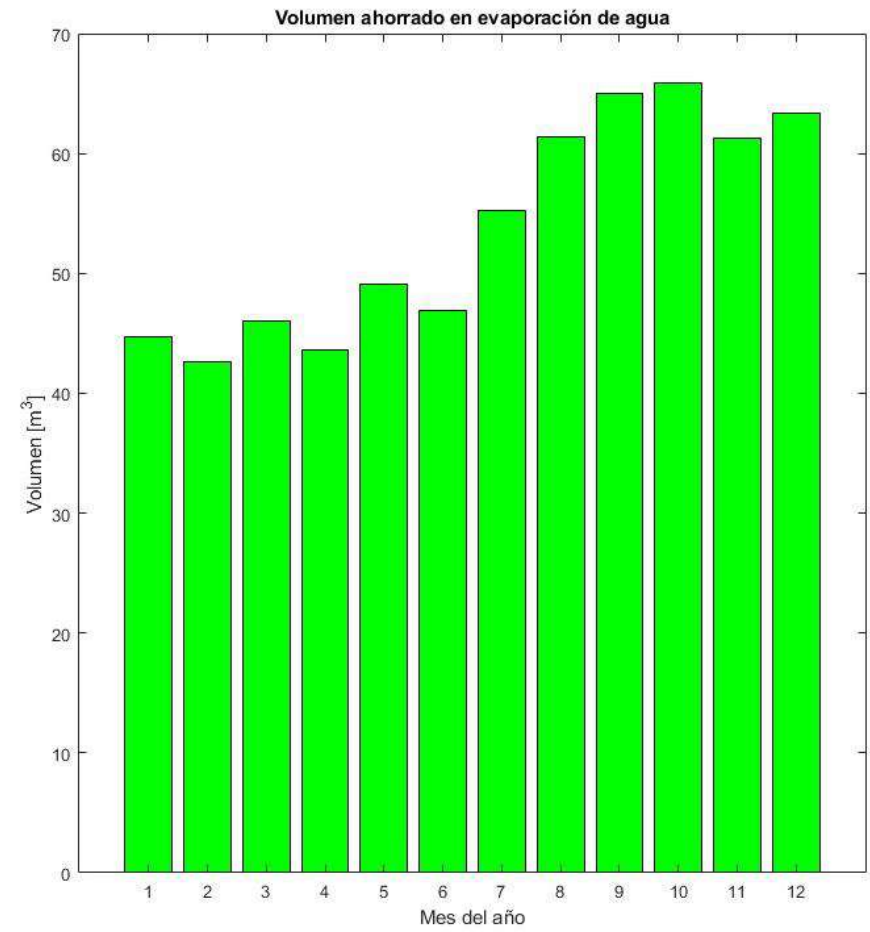
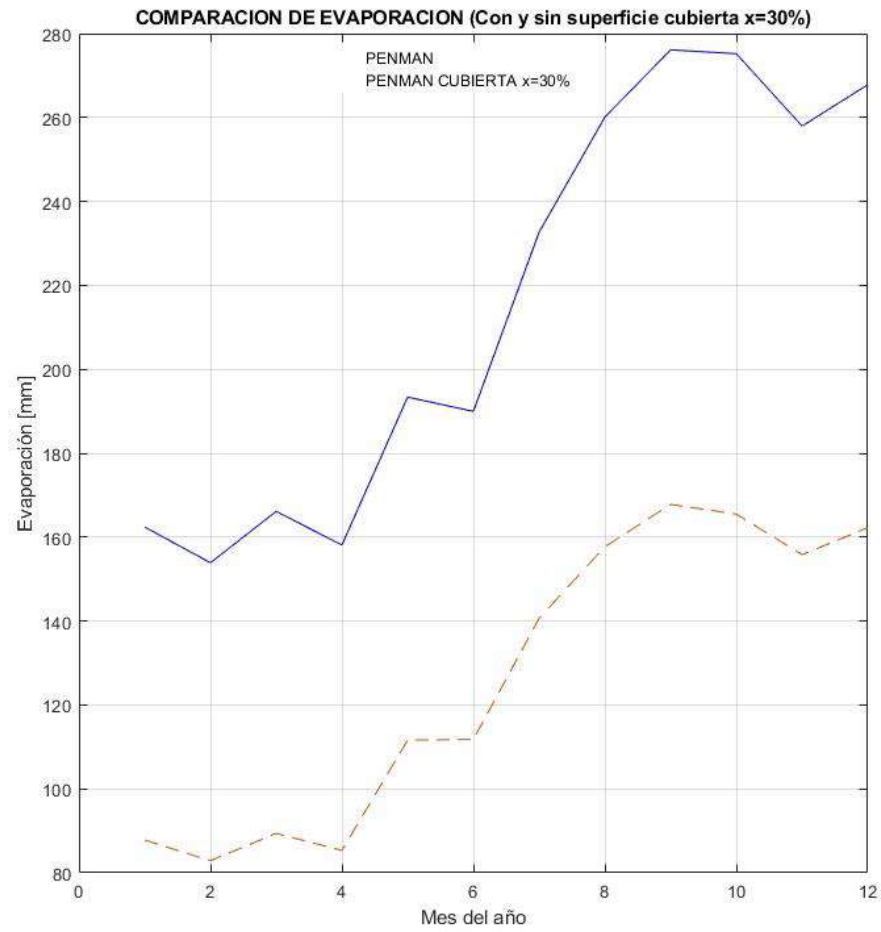
SIBIMBE



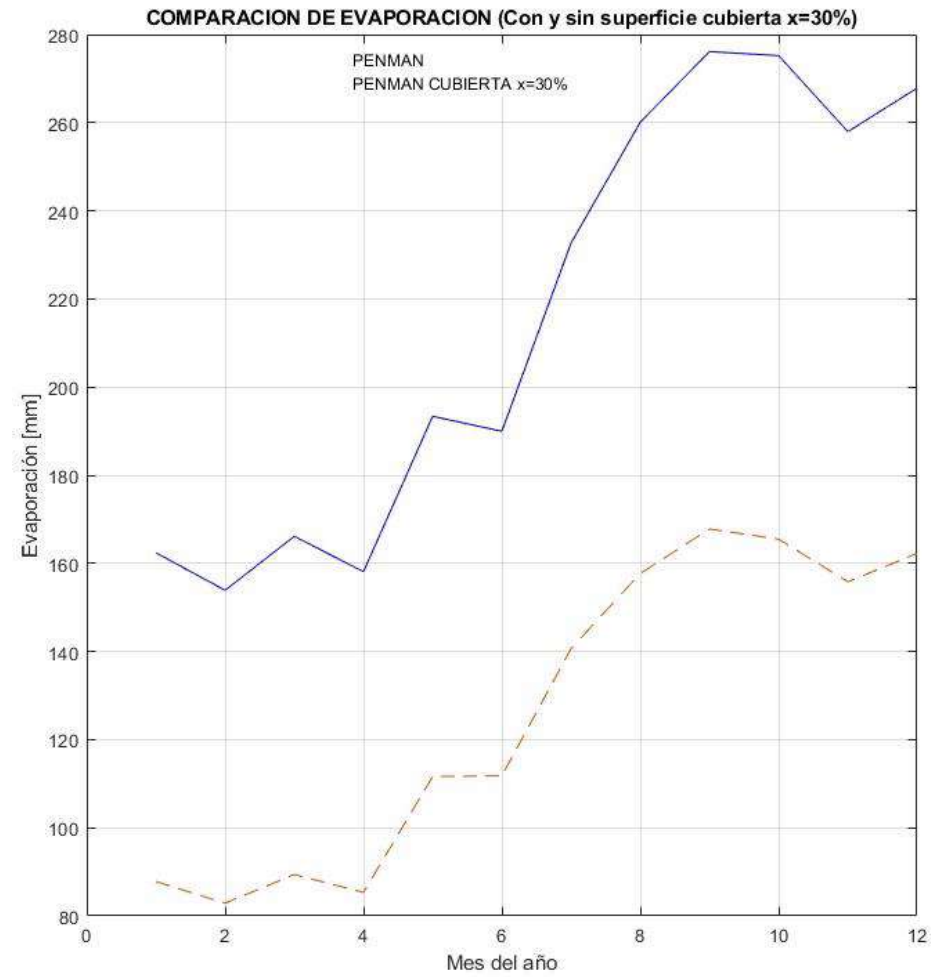
SIGCHOS



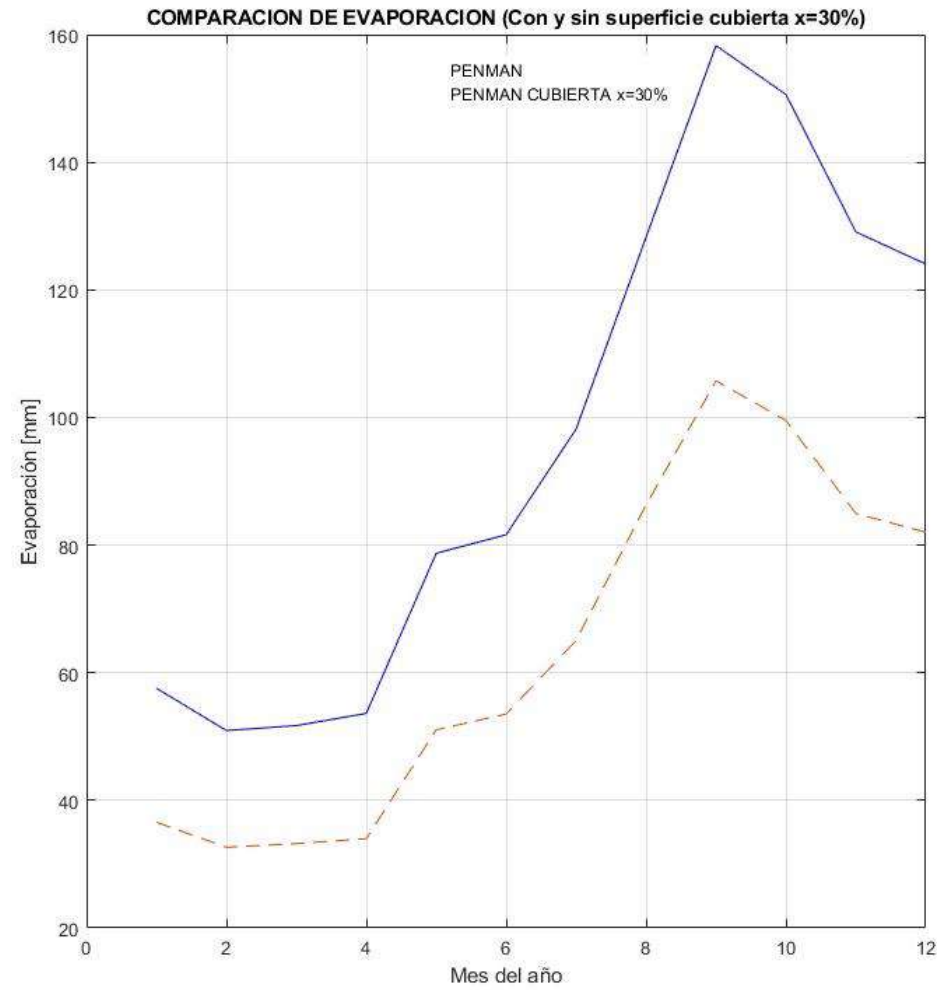
SILLUNCHI-1



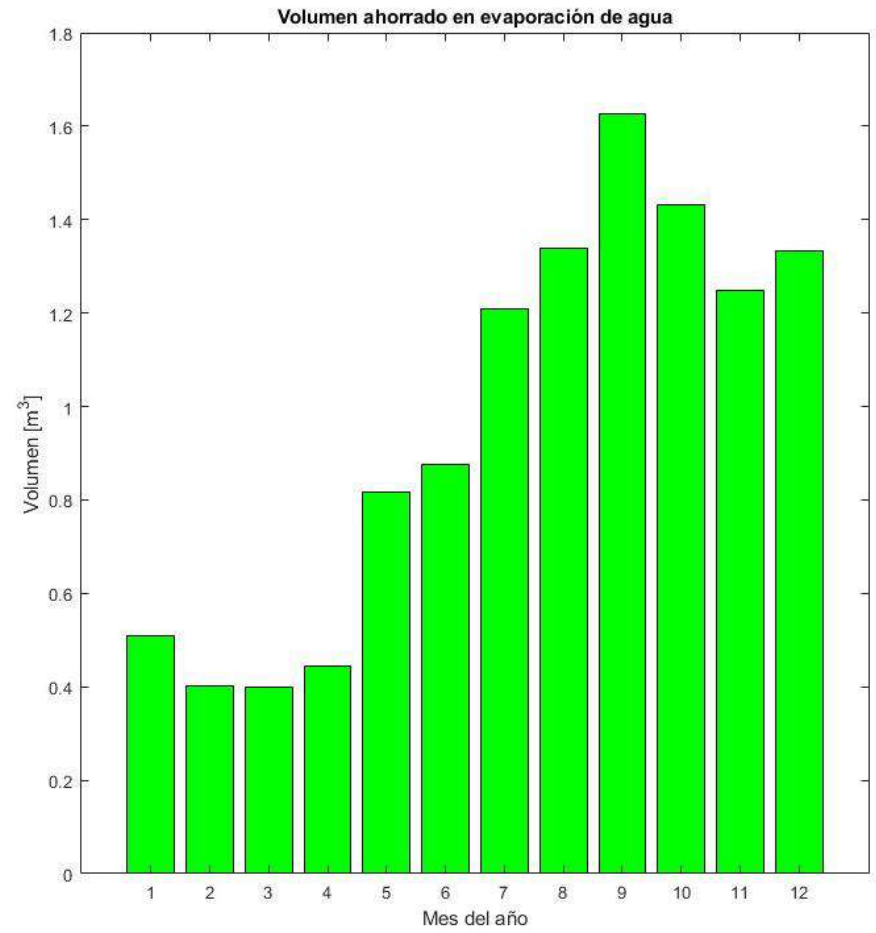
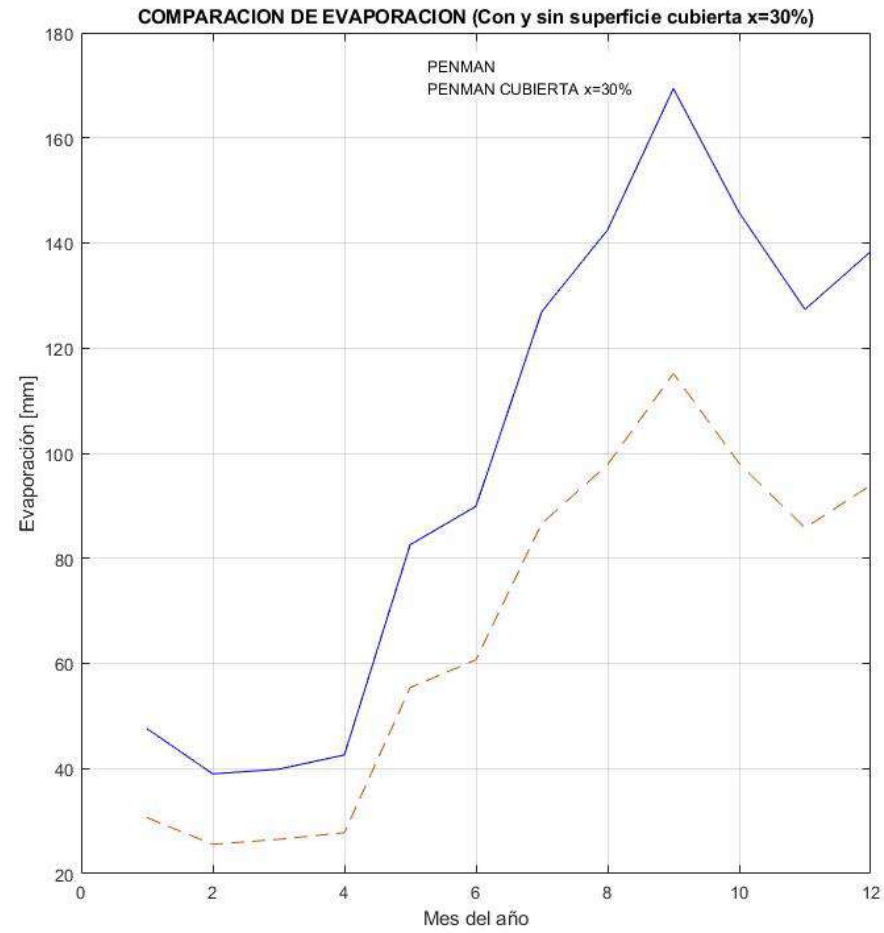
SILLUNCHI-2



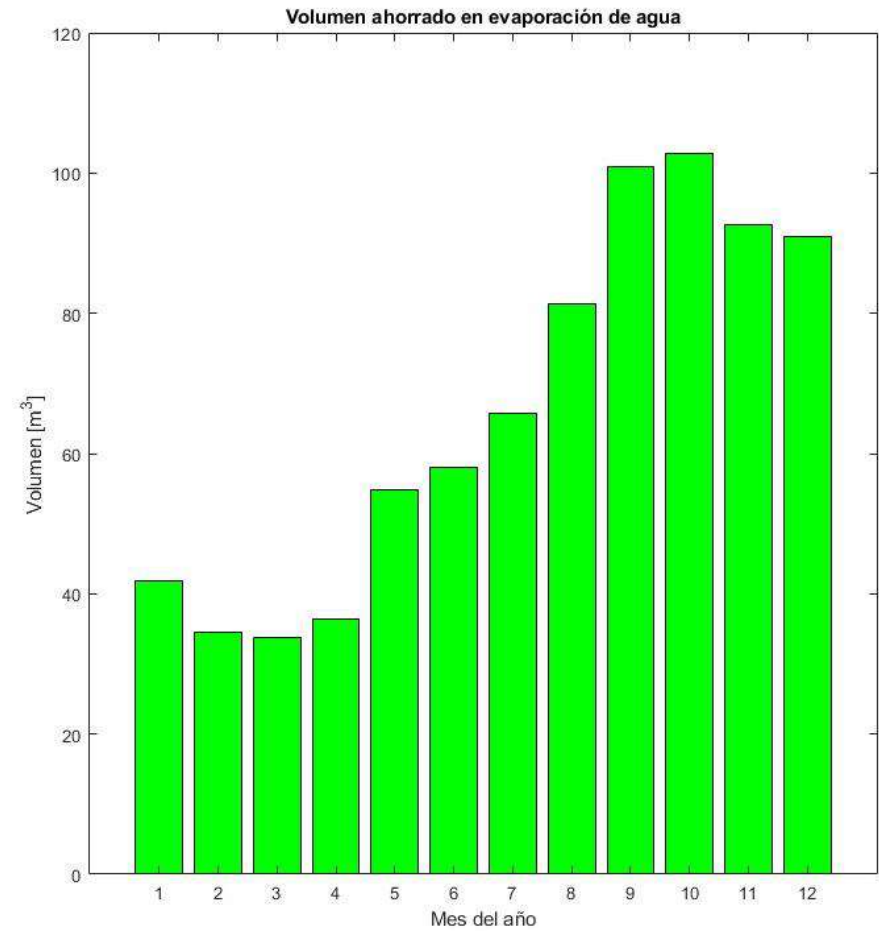
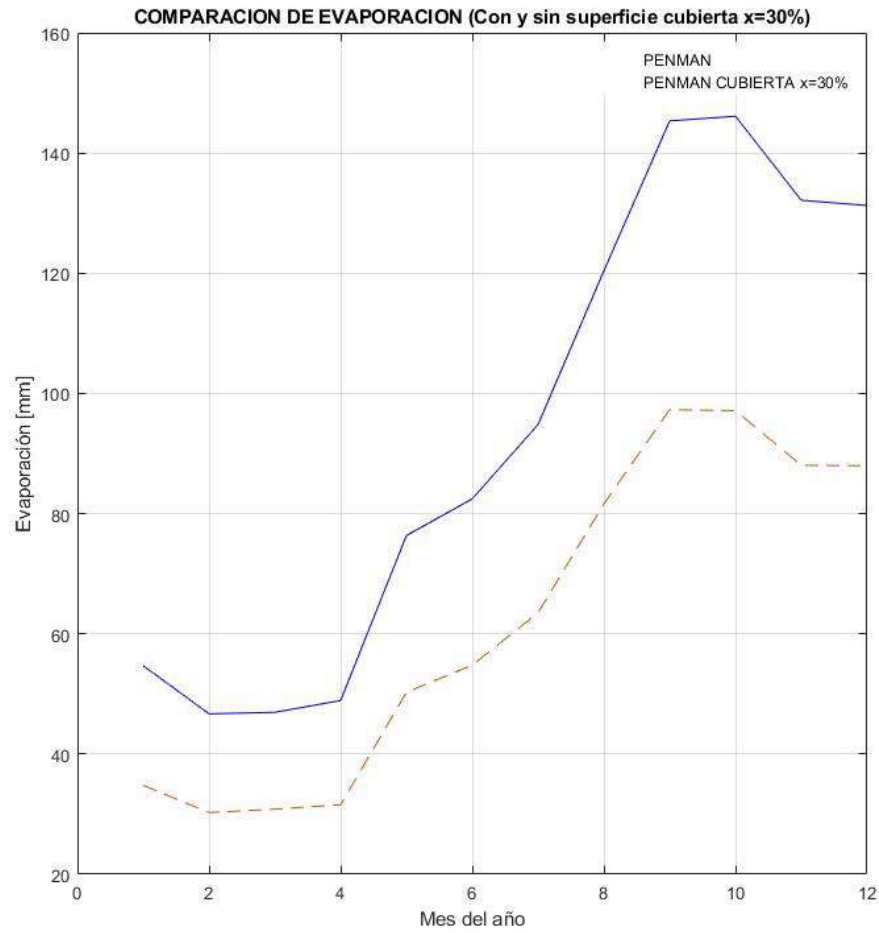
SOPLADORA



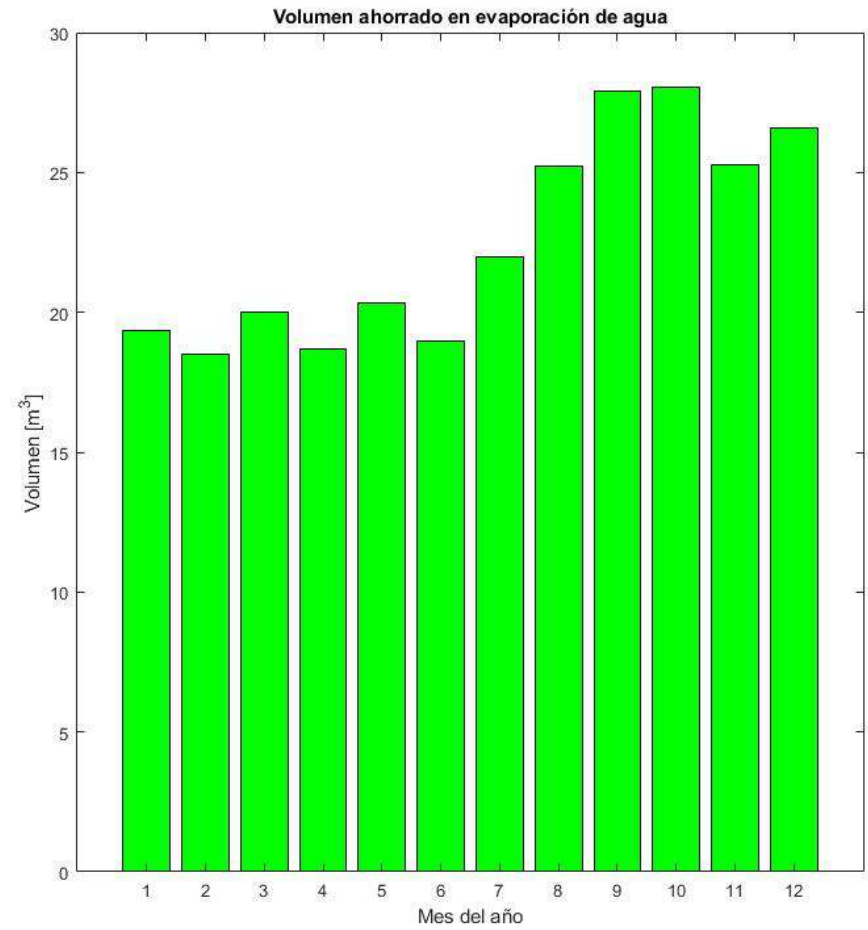
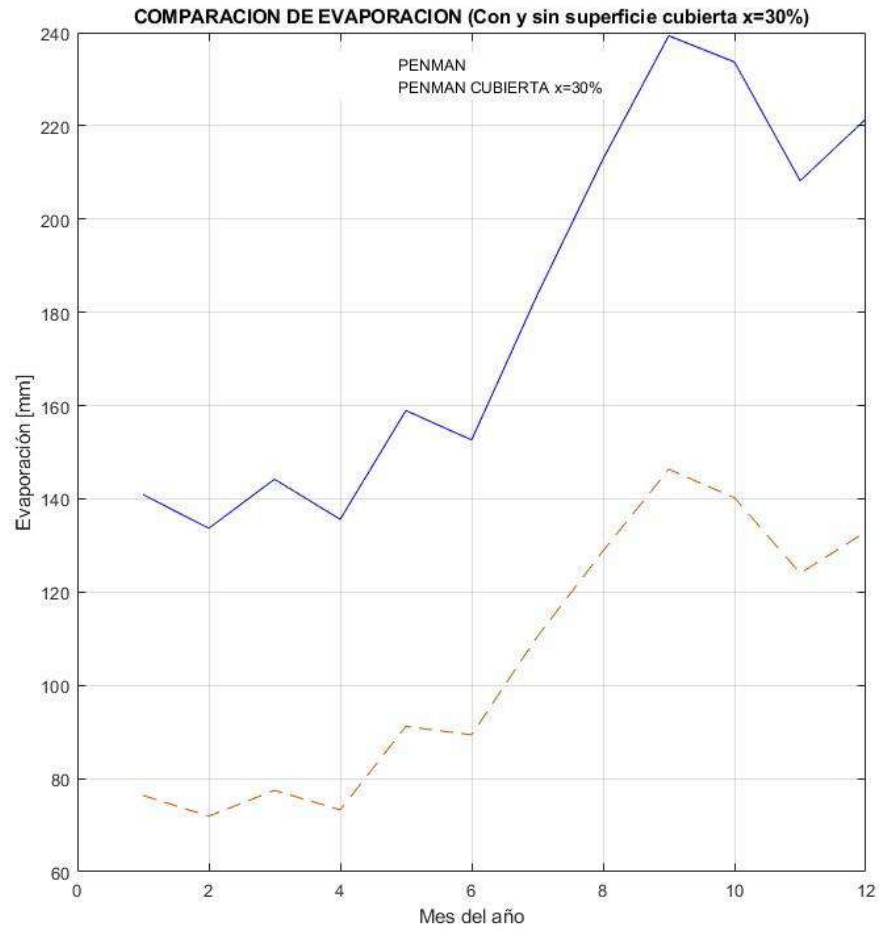
TILIVI



TOPO



URAVIA



ANEXO III. Código usado en el desarrollo del modelo de Penman para la evaporación.

La estructura del código se divide en 18 bloques, los cuales son:

- a. Datos iniciales
- b. Datos Enero
- c. Datos Febrero
- d. Datos Marzo
- e. Datos Abril
- f. Datos Mayo
- g. Datos Junio
- h. Datos Julio
- i. Datos Agosto
- j. Datos Septiembre
- k. Datos Octubre
- l. Datos Noviembre
- m. Datos Diciembre
- n. Evaluación mensual y anual de la evaporación en superficie libre
- o. Evaluación de evaporación mensual con modulo flotante tipo A en superficie cubierta
- p. Volumen ahorrado
- q. Graficas finales
- r. Reducción en evaporación

```
%% CODIGO DE EVAPORACION MODELO DE PENMAN MODIFICADO Y CON SUPERFICIE CUBIERTA
%% DATOS INICIALES
archivo='CCS,xlsx'; % Nombre de la central a analizar, se usa un archivo EXCEL con los datos generales,
sigma=4,93e-9; %[MJ/K^4*m^2*dia] %Cte de Boltzmann
%DATOS GENERALES temperaturas (media, maxima, minima,punto de rocío), velocidad2, humedad relativa, Radiacion solar
%% DATOS EN ENERO
n=1:1:31; %[dias de enero]
```

```

T_1=readcell(archivo,'Range','E2:E32'); Tmax_1=readcell(archivo,'Range','G2:G32');
Tmin_1=readcell(archivo,'Range','H2:H32'); RH_1=readcell(archivo,'Range','I2:I32');
U2_1=readcell(archivo,'Range','J2:J32');Rs_1=readcell(archivo,'Range','D2:D32');Td_1=readcell(archivo,'Range','F2:F32');
);
T_1=cell2mat(T_1)'; Tmax_1=cell2mat(Tmax_1)';Tmin_1=cell2mat(Tmin_1)'; RH_1=cell2mat(RH_1)';
U2_1=cell2mat(U2_1)';Rs_1=cell2mat(Rs_1)';Td_1=cell2mat(Td_1)';
U_1=U2_1*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es= 0,611,*exp((17,27,*T_1)/(T_1+237,3));
ea=(RH_1,/100),*es;
Q=Rs_1*0,277778*86,011;
Qn=((0,00714*Q)+(0,00000526*Q,*T_1+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q,^2)-(0,0000000239*Q,^2,*T_1-7,2),^2)-1,02);
es_ea=33,86*((0,00738*T_1)+0,8072),^8-(0,00738*Td_1+0,8072),^8);
Ea=es_ea,^0,88,*((0,42+0,0029*U_1);
C1=(1+(0,66,/(0,00815*T_1+0,8912),^7)),^-1;
C2=1-C1;
E_penman1=0,7*(C1,*Qn+C2,*Ea);
%figure(1)
%plot(n,E_penman1,'black')
title('EVAPORACIÓN ENERO 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN FEBRERO
n2=32:1:59; %[días de FEBRERO]
T_2=readcell(archivo,'Range','E33:E60'); Tmax_2=readcell(archivo,'Range','G33:G60');
Tmin_2=readcell(archivo,'Range','H33:H60'); RH_2=readcell(archivo,'Range','I33:I60');
U2_2=readcell(archivo,'Range','J33:J60');Rs_2=readcell(archivo,'Range','D33:D60');Td_2=readcell(archivo,'Range','F33:F60');
);
T_2=cell2mat(T_2)'; Tmax_2=cell2mat(Tmax_2)';Tmin_2=cell2mat(Tmin_2)'; RH_2=cell2mat(RH_2)';
U2_2=cell2mat(U2_2)';Rs_2=cell2mat(Rs_2)';Td_2=cell2mat(Td_2)';

```

```

U_2=U2_2*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_2= 0,611,*exp((17,27,*T_2)/(T_2+237,3));
ea_2=(RH_2,/100),*es;
Q_2=Rs_2*0,277778*86,011;
Qn_2=((0,00714*Q_2)+(0,00000526*Q_2,*T_2+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_2,^2)-(0,00000000239*Q_2,^2,*T_2-7,2),^2)-
1,02);
es_ea_2=33,86*(((0,00738*T_2)+0,8072),^8-(0,00738*Td_2+0,8072),^8);
Ea_2=es_ea_2,^0,88,*0,42+0,0029*U_2);
C1_2=(1+(0,66,/(0,00815*T_2+0,8912),^7)),^-1;
C2_2=1-C1_2;
E_penman2=0,7*(C1_2,*Qn_2+C2_2,*Ea_2);
%figure(2)
%plot(n2,E_penman2,'black')
title('EVAPORACIÓN FEBRERO 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN MARZO
n3=60:1:90; %[dias de MARZO]
T_3=readcell(archivo,'Range','E61:E91'); Tmax_3=readcell(archivo,'Range','G61:G91');
Tmin_3=readcell(archivo,'Range','H61:H91'); RH_3=readcell(archivo,'Range','I61:I91');
U2_3=readcell(archivo,'Range','J61:J91');Rs_3=readcell(archivo,'Range','D61:D91');Td_3=readcell(archivo,'Range','F61:F
91');
T_3=cell2mat(T_3)'; Tmax_3=cell2mat(Tmax_3)';Tmin_3=cell2mat(Tmin_3)'; RH_3=cell2mat(RH_3)';
U2_3=cell2mat(U2_3)';Rs_3=cell2mat(Rs_3)';Td_3=cell2mat(Td_3)';
U_3=U2_3*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_3= 0,611,*exp((17,27,*T_3)/(T_3+237,3));
ea_3=(RH_3,/100),*es;
Q_3=Rs_3*0,277778*86,011;

```



```

Qn_3=((0,00714*Q_3)+(0,00000526*Q_3,*(T_3+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_3,^2)-(0,00000000239*Q_3,^2,*(T_3-7,2),^2)-
1,02);
es_ea_3=33,86*(((0,00738*T_3)+0,8072),^8-(0,00738*Td_3+0,8072),^8);
Ea_3=es_ea_3,^0,88,*(0,42+0,0029*U_3);
C1_3=(1+(0,66,/(0,00815*T_3+0,8912),^7)),^-1;
C2_3=1-C1_3;
E_penman3=0,7*(C1_3,*Qn_3+C2_3,*Ea_3);
%figure(3)
%plot(n3,E_penman3,'black')
title('EVAPORACIÓN MARZO 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN ABRIL
n4=91:1:120; %[días de ABRIL]
T_4=readcell(archivo,'Range','E92:E121'); Tmax_4=readcell(archivo,'Range','G92:G121');
Tmin_4=readcell(archivo,'Range','H92:H121'); RH_4=readcell(archivo,'Range','I92:I121');
U2_4=readcell(archivo,'Range','J92:J121');Rs_4=readcell(archivo,'Range','D92:D121');Td_4=readcell(archivo,'Range','F92
:F121');
T_4=cell2mat(T_4)'; Tmax_4=cell2mat(Tmax_4)';Tmin_4=cell2mat(Tmin_4)'; RH_4=cell2mat(RH_4)';
U2_4=cell2mat(U2_4)';Rs_4=cell2mat(Rs_4)';Td_4=cell2mat(Td_4)';
U_4=U2_4*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_4= 0,611,*(exp((17,27,*T_4)/(T_4+237,3)));
ea_4=(RH_4,/100),*es;
Q_4=Rs_4,*0,277778,*86,011;
Qn_4=((0,00714*Q_4)+(0,00000526*Q_4,*(T_4+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_4,^2)-(0,00000000239*Q_4,^2,*(T_4-7,2),^2)-
1,02);
es_ea_4=33,86*(((0,00738*T_4)+0,8072),^8-(0,00738*Td_4+0,8072),^8);
Ea_4=es_ea_4,^0,88,*(0,42+0,0029*U_4);
C1_4=(1+(0,66,/(0,00815*T_4+0,8912),^7)),^-1;

```

```

C2_4=1-C1_4;
E_penman4=0,7*(C1_4,*Qn_4+C2_4,*Ea_4);
%figure(4)
%plot(n4,E_penman4,'black')
title('EVAPORACIÓN ABRIL 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN MAYO
n5=121:1:151; %[dias de MAYO]
T_5=readcell(archivo,'Range','E122:E152'); Tmax_5=readcell(archivo,'Range','G122:G152');
Tmin_5=readcell(archivo,'Range','H122:H152'); RH_5=readcell(archivo,'Range','I122:I152');
U2_5=readcell(archivo,'Range','J122:J152');Rs_5=readcell(archivo,'Range','D122:D152');Td_5=readcell(archivo,'Range','F
122:F152');
T_5=cell2mat(T_5)'; Tmax_5=cell2mat(Tmax_5)';Tmin_5=cell2mat(Tmin_5)'; RH_5=cell2mat(RH_5)';
U2_5=cell2mat(U2_5)';Rs_5=cell2mat(Rs_5)';Td_5=cell2mat(Td_5)';
U_5=U2_5*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_5= 0,611,*exp((17,27,*T_5)/(T_5+237,3));
ea_5=(RH_5,/100),*es;
Q_5=Rs_5*0,277778*86,011;
Qn_5=((0,00714*Q_5)+(0,00000526*Q_5,*T_5+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_5,^2)-(0,0000000239*Q_5,^2,*T_5-7,2),^2)-
1,02);
es_ea_5=122,86*((0,00738*T_5)+0,8072),^8-(0,00738*Td_5+0,8072),^8);
Ea_5=es_ea_5,^0,88,*0,42+0,0029*U_5);
C1_5=(1+(0,66,/(0,00815*T_5+0,8912),^7)),^-1;
C2_5=1-C1_5;
E_penman5=0,7*(C1_5,*Qn_5+C2_5,*Ea_5);
%figure(5)
%plot(n5,E_penman5,'black')
title('EVAPORACIÓN MAYO 2021')

```

```

xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN JUNIO
n6=152:1:181; %[días de JUNIO]
T_6=readcell(archivo,'Range','E153:E182'); Tmax_6=readcell(archivo,'Range','G153:G182');
Tmin_6=readcell(archivo,'Range','H153:H182'); RH_6=readcell(archivo,'Range','I153:I182');
U2_6=readcell(archivo,'Range','J153:J182');Rs_6=readcell(archivo,'Range','D153:D182');Td_6=readcell(archivo,'Range','F
153:F182');
T_6=cell2mat(T_6)'; Tmax_6=cell2mat(Tmax_6)';Tmin_6=cell2mat(Tmin_6)'; RH_6=cell2mat(RH_6)';
U2_6=cell2mat(U2_6)';Rs_6=cell2mat(Rs_6)';Td_6=cell2mat(Td_6)';
U_6=U2_6*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_6= 0,611,*exp((17,27,*T_6)/(T_6+237,3));
ea_6=(RH_6,/100),*es;
Q_6=Rs_6*0,277778*86,011;
Qn_6=((0,00714*Q_6)+(0,00000526*Q_6,*(T_6+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_6,^2)-(0,0000000239*Q_6,^2,*(T_6-7,2),^2)-
1,02);
es_ea_6=153,86*(((0,00738*T_6)+0,8072),^8-(0,00738*Td_6+0,8072),^8);
Ea_6=es_ea_6,^0,88,*(0,42+0,0029*U_6);
C1_6=(1+(0,66,/(0,00815*T_6+0,8912),^7)),^-1;
C2_6=1-C1_6;
E_penman6=0,7*(C1_6,*Qn_6+C2_6,*Ea_6);
%figure(6)
%plot(n6,E_penman6,'black')
title('EVAPORACIÓN JUNIO 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN JULIO

```

```

n7=182:1:212; %[dias de JULIO]
T_7=readcell(archivo,'Range','E183:E213'); Tmax_7=readcell(archivo,'Range','G183:G213');
Tmin_7=readcell(archivo,'Range','H183:H213'); RH_7=readcell(archivo,'Range','I183:I213');
U2_7=readcell(archivo,'Range','J183:J213');Rs_7=readcell(archivo,'Range','D183:D213');Td_7=readcell(archivo,'Range','F
183:F213');
T_7=cell2mat(T_7)'; Tmax_7=cell2mat(Tmax_7)';Tmin_7=cell2mat(Tmin_7)'; RH_7=cell2mat(RH_7)';
U2_7=cell2mat(U2_7)';Rs_7=cell2mat(Rs_7)';Td_7=cell2mat(Td_7)';
U_7=U2_7*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_7= 0,611,*(exp((17,27,*T_7)/(T_7+237,3)));
ea_7=(RH_7,/100),*es;
Q_7=Rs_7*0,277778*86,011;
Qn_7=((0,00714*Q_7)+(0,0000526*Q_7,*(T_7+17,8),^1,87)+(0,0000394*Q_7,^2)-(0,0000000239*Q_7,^2,*(T_7-7,2),^2)-
1,02);
es_ea_7=183,86*(((0,00738*T_7)+0,8072),^8-(0,00738*Td_7+0,8072),^8);
Ea_7=es_ea_7,^0,88,*(0,42+0,0029*U_7);
C1_7=(1+(0,66,/(0,00815*T_7+0,8912),^7)),^-1;
C2_7=1-C1_7;
E_penman7=0,7*(C1_7,*Qn_7+C2_7,*Ea_7);
%figure(7)
%plot(n7,E_penman7,'black')
title('EVAPORACIÓN JULIO 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN AGOSTO
n8=213:1:243; %[dias de AGOSTO]
T_8=readcell(archivo,'Range','E214:E244'); Tmax_8=readcell(archivo,'Range','G214:G244');
Tmin_8=readcell(archivo,'Range','H214:H244'); RH_8=readcell(archivo,'Range','I214:I244');
U2_8=readcell(archivo,'Range','J214:J244');Rs_8=readcell(archivo,'Range','D214:D244');Td_8=readcell(archivo,'Range','F
214:F244');

```

```

T_8=cell2mat(T_8)'; Tmax_8=cell2mat(Tmax_8)'; Tmin_8=cell2mat(Tmin_8)'; RH_8=cell2mat(RH_8)';
U2_8=cell2mat(U2_8)'; Rs_8=cell2mat(Rs_8)'; Td_8=cell2mat(Td_8)';
U_8=U2_8*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_8= 0,611,*(exp((17,27,*T_8)/(T_8+237,3)));
ea_8=(RH_8,/100),*es;
Q_8=Rs_8*0,277778*86,011;
Qn_8=((0,00714*Q_8)+(0,0000526*Q_8,*(T_8+17,8),^1,87)+(0,0000394*Q_8,^2)-(0,0000000239*Q_8,^2,*(T_8-7,2),^2)-
1,02);
es_ea_8=214,86*(((0,00738*T_8)+0,8072),^8-(0,00738*Td_8+0,8072),^8);
Ea_8=es_ea_8,^0,88,*(0,42+0,0029*U_8);
C1_8=(1+(0,66,/(0,00815*T_8+0,8912),^7)),^-1;
C2_8=1-C1_8;
E_penman8=0,7*(C1_8,*Qn_8+C2_8,*Ea_8);
%figure(8)
%plot(n8,E_penman8,'black')
title('EVAPORACIÓN AGOSTO 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN SEPTIEMBRE
n9=244:1:273; %[dias de SEPTIEMBRE]
T_9=readcell(archivo,'Range','E245:E274'); Tmax_9=readcell(archivo,'Range','G245:G274');
Tmin_9=readcell(archivo,'Range','H245:H274'); RH_9=readcell(archivo,'Range','I245:I274');
U2_9=readcell(archivo,'Range','J245:J274'); Rs_9=readcell(archivo,'Range','D245:D274'); Td_9=readcell(archivo,'Range','F
245:F274');
T_9=cell2mat(T_9)'; Tmax_9=cell2mat(Tmax_9)'; Tmin_9=cell2mat(Tmin_9)'; RH_9=cell2mat(RH_9)';
U2_9=cell2mat(U2_9)'; Rs_9=cell2mat(Rs_9)'; Td_9=cell2mat(Td_9)';
U_9=U2_9*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_9= 0,611,*(exp((17,27,*T_9)/(T_9+237,3)));
ea_9=(RH_9,/100),*es;

```

```

Q_9=Rs_9*0,277778*86,011;
Qn_9=((0,00714*Q_9)+(0,00000526*Q_9*(T_9+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_9,^2)-(0,0000000239*Q_9,^2*(T_9-7,2),^2)-
1,02);
es_ea_9=245,86*(((0,00738*T_9)+0,8072),^8-(0,00738*Td_9+0,8072),^8);
Ea_9=es_ea_9,^0,88*(0,42+0,0029*U_9);
C1_9=(1+(0,66,/(0,00815*T_9+0,8912),^7)),^-1;
C2_9=1-C1_9;
E_penman9=0,7*(C1_9,*Qn_9+C2_9,*Ea_9);
%figure(9)
%plot(n9,E_penman9,'black')
title('EVAPORACIÓN SEPTIEMBRE 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN OCTUBRE
n10=274:1:304; %[días de OCTUBRE]
T_10=readcell(archivo,'Range','E275:E305'); Tmax_10=readcell(archivo,'Range','G275:G305');
Tmin_10=readcell(archivo,'Range','H275:H305'); RH_10=readcell(archivo,'Range','I275:I305');
U2_10=readcell(archivo,'Range','J275:J305');Rs_10=readcell(archivo,'Range','D275:D305');Td_10=readcell(archivo,'Range'
,'F275:F305');
T_10=cell2mat(T_10)'; Tmax_10=cell2mat(Tmax_10)';Tmin_10=cell2mat(Tmin_10)'; RH_10=cell2mat(RH_10)';
U2_10=cell2mat(U2_10)';Rs_10=cell2mat(Rs_10)';Td_10=cell2mat(Td_10)';
U_10=U2_10*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_10= 0,611*(exp((17,27,*T_10)/(T_10+237,3)));
ea_10=(RH_10,/100),*es;
Q_10=Rs_10*0,277778*86,011;
Qn_10=((0,00714*Q_10)+(0,00000526*Q_10*(T_10+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_10,^2)-(0,0000000239*Q_10,^2*(T_10-
7,2),^2)-1,02);
es_ea_10=275,86*(((0,00738*T_10)+0,8072),^8-(0,00738*Td_10+0,8072),^8);
Ea_10=es_ea_10,^0,88*(0,42+0,0029*U_10);

```

```

C1_10=(1+(0,66,/(0,00815*T_10+0,8912),^7)),^-1;
C2_10=1-C1_10;
E_penman10=0,7*(C1_10,*Qn_10+C2_10,*Ea_10);
%figure(10)
%plot(n10,E_penman10,'black')
title('EVAPORACIÓN OCTUBRE 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN NOVIEMBRE
n11=305:1:334; %[dias de NOVIEMBRE]
T_11=readcell(archivo,'Range','E306:E335'); Tmax_11=readcell(archivo,'Range','G306:G335');
Tmin_11=readcell(archivo,'Range','H306:H335'); RH_11=readcell(archivo,'Range','I306:I335');
U2_11=readcell(archivo,'Range','J306:J335');Rs_11=readcell(archivo,'Range','D306:D335');Td_11=readcell(archivo,'Range',
,'F306:F335');
T_11=cell2mat(T_11)'; Tmax_11=cell2mat(Tmax_11)';Tmin_11=cell2mat(Tmin_11)'; RH_11=cell2mat(RH_11)';
U2_11=cell2mat(U2_11)';Rs_11=cell2mat(Rs_11)';Td_11=cell2mat(Td_11)';
U_11=U2_11*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_11= 0,611,*(exp((17,27,*T_11)/(T_11+237,3)));
ea_11=(RH_11,/100),*es;
Q_11=Rs_11*0,277778*86,011;
Qn_11=((0,00714*Q_11)+(0,00000526*Q_11,*(T_11+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_11,^2)-(0,00000000239*Q_11,^2,*(T_11-
7,2),^2)-1,02);
es_ea_11=306,86*(((0,00738*T_11)+0,8072),^8-(0,00738*Td_11+0,8072),^8);
Ea_11=es_ea_11,^0,88,*(0,42+0,0029*U_11);
C1_11=(1+(0,66,/(0,00815*T_11+0,8912),^7)),^-1;
C2_11=1-C1_11;
E_penman11=0,7*(C1_11,*Qn_11+C2_11,*Ea_11);
%figure(11)
%plot(n11,E_penman11,'black')

```

```

title('EVAPORACIÓN NOVIEMBRE 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on
%% DATOS EN DICIEMBRE
n12=335:1:365; %[dias de DICIEMBRE]
T_12=readcell(archivo,'Range','E336:E366'); Tmax_12=readcell(archivo,'Range','G336:G366');
Tmin_12=readcell(archivo,'Range','H336:H366'); RH_12=readcell(archivo,'Range','I336:I366');
U2_12=readcell(archivo,'Range','J336:J366');Rs_12=readcell(archivo,'Range','D336:D366');Td_12=readcell(archivo,'Range',
,'F336:F366');
T_12=cell2mat(T_12)'; Tmax_12=cell2mat(Tmax_12)';Tmin_12=cell2mat(Tmin_12)'; RH_12=cell2mat(RH_12)';
U2_12=cell2mat(U2_12)';Rs_12=cell2mat(Rs_12)';Td_12=cell2mat(Td_12)';
U_12=U2_12*3,6*24; % Velocidad del viento[km/dia]
es_12= 0,611,*(exp((17,27,*T_12)/(T_12+237,3)));
ea_12=(RH_12,/100),*es;
Q_12=Rs_12*0,277778*86,011;
Qn_12=((0,00714*Q_12)+(0,00000526*Q_12,*(T_12+17,8),^1,87)+(0,00000394*Q_12,^2)-(0,0000000239*Q_12,^2,*(T_12-
7,2),^2)-1,02);
es_ea_12=336,86*((0,00738*T_12)+0,8072),^8-(0,00738*Td_12+0,8072),^8);
Ea_12=es_ea_12,^0,88,*(0,42+0,0029*U_12);
C1_12=(1+(0,66,/(0,00815*T_12+0,8912),^7)),^-1;
C2_12=1-C1_12;
E_penman12=0,7*(C1_12,*Qn_12+C2_12,*Ea_12);
%figure(12)
%plot(n12,E_penman12,'black')
title('EVAPORACIÓN DICIEMBRE 2021')
xlabel('Días del mes')
ylabel('Evaporación [mm]')
legend('PENMAN MODIFICADO')
grid on

```



```

%% EVALUACION MENSUAL Y ANUAL DE LA EVAPORACION EN SUPERFICIE LIBRE
% METODO PENMAN MENSUAL
PENMAN_ENERO=sum(E_penman1);
PENMAN_FEBRERO=sum(E_penman2);PENMAN_MARZO=sum(E_penman3);PENMAN_ABRIL=sum(E_penman4);PENMAN_MAYO=sum(E_penman5);PENMA
N_JUNIO=sum(E_penman6);PENMAN_JULIO=sum(E_penman7);PENMAN_AGOSTO=sum(E_penman8);PENMAN_SEPTIEMBRE=sum(E_penman9);PENMA
N_OCTUBRE=sum(E_penman10);PENMAN_NOVIEMBRE=sum(E_penman11);PENMAN_DICIEMBRE=sum(E_penman12);
% GRAFICOS EVAPORACION MENSUAL
PENMAN=[PENMAN_ENERO,PENMAN_FEBRERO,PENMAN_MARZO,PENMAN_ABRIL,PENMAN_MAYO,PENMAN_JUNIO,PENMAN_JULIO,PENMAN_AGOSTO,PEN
MAN_SEPTIEMBRE,PENMAN_OCTUBRE,PENMAN_NOVIEMBRE,PENMAN_DICIEMBRE];
mes=1:1:12;
%figure(13)
%plot(mes,PENMAN,'red')
xlabel('MES DEL AÑO [2021]')
ylabel('EVAPORACION MENSUAL [mm]')
title('EVAPORACION MENSUAL 2021')
grid on
%% EVALUACION DE EVAPORACION MENSUAL CON MODULO FLOTANTE TIPO A EN SUPERFICIE CUBIERTA
x=input('x= '); %Porcentaje de area cubierta
% CALCULO DE LA RADIACION NETA POR MES CON MODULO FLOTANTE
QN_1=sigma,*((T_1+273,15),^4),*(0,56-0,0092,* (ea,^0,5)),*0,1;QN_2=sigma,*((T_2+273,15),^4),*(0,56-
0,0092,* (ea_2,^0,5)),*0,1;QN_3=sigma,*((T_3+273,15),^4),*(0,56-
0,0092,* (ea_3,^0,5)),*0,1;QN_4=sigma,*((T_4+273,15),^4),*(0,56-0,0092,* (ea_4,^0,5)),*0,1;
QN_5=sigma,*((T_5+273,15),^4),*(0,56-0,0092,* (ea_5,^0,5)),*0,1;QN_6=sigma,*((T_6+273,15),^4),*(0,56-
0,0092,* (ea_6,^0,5)),*0,1;QN_7=sigma,*((T_7+273,15),^4),*(0,56-
0,0092,* (ea_7,^0,5)),*0,1;QN_8=sigma,*((T_8+273,15),^4),*(0,56-0,0092,* (ea_8,^0,5)),*0,1;
QN_9=sigma,*((T_9+273,15),^4),*(0,56-0,0092,* (ea_9,^0,5)),*0,1;QN_10=sigma,*((T_10+273,15),^4),*(0,56-
0,0092,* (ea_10,^0,5)),*0,1;QN_11=sigma,*((T_11+273,15),^4),*(0,56-
0,0092,* (ea_11,^0,5)),*0,1;QN_12=sigma,*((T_12+273,15),^4),*(0,56-0,0092,* (ea_12,^0,5)),*0,1;
% CALCULO DE LA RADIACION NETA CON EL PORCENTAJE DE AREA CUBIERTA POR MES
QN_EN=Qn,*(1-x)+QN_1,*x;QN_FEB=Qn_2,*(1-x)+QN_2,*x;QN_MAR=Qn_3,*(1-x)+QN_3,*x;QN_ABR=Qn_4,*(1-x)+QN_4,*x;
QN_MAY=Qn_5,*(1-x)+QN_5,*x;QN_JUN=Qn_6,*(1-x)+QN_6,*x;QN_JUL=Qn_7,*(1-x)+QN_7,*x;QN_AG=Qn_8,*(1-x)+QN_8,*x;

```

```

QN_SEP=Qn_9,*(1-x)+QN_9,*x;QN_OCT=Qn_10,*(1-x)+QN_10,*x;QN_NOV=Qn_11,*(1-x)+QN_11,*x;QN_DIC=Qn_12,*(1-x)+QN_12,*x;
% CALCULO DE LA EVAPORACION DIARIA DE CADA MES CON EL MODULO FLOTANTE
E_P1=0,7*(C1,*QN_EN+C2,*Ea);
E_P2=0,7*(C1_2,*QN_FEB+C2_2,*Ea_2);
E_P3=0,7*(C1_3,*QN_MAR+C2_3,*Ea_3);
E_P4=0,7*(C1_4,*QN_ABR+C2_4,*Ea_4);
E_P5=0,7*(C1_5,*QN_MAY+C2_5,*Ea_5);
E_P6=0,7*(C1_6,*QN_JUN+C2_6,*Ea_6);
E_P7=0,7*(C1_7,*QN_JUL+C2_7,*Ea_7);
E_P8=0,7*(C1_8,*QN_AG+C2_8,*Ea_8);
E_P9=0,7*(C1_9,*QN_SEP+C2_9,*Ea_9);
E_P10=0,7*(C1_10,*QN_OCT+C2_10,*Ea_10);
E_P11=0,7*(C1_11,*QN_NOV+C2_11,*Ea_11);
E_P12=0,7*(C1_12,*QN_DIC+C2_12,*Ea_12);
% CALCULO DE LA EVAPORACION TOTAL
PENMAN_TOTAL_EN=(1-x),*E_P1;PENMAN_TOTAL_FEB=(1-x),*E_P2;PENMAN_TOTAL_MAR=(1-x),*E_P3;PENMAN_TOTAL_ABR=(1-x),*E_P4;
PENMAN_TOTAL_MAY=(1-x),*E_P5;PENMAN_TOTAL_JUN=(1-x),*E_P6;PENMAN_TOTAL_JUL=(1-x),*E_P7;PENMAN_TOTAL_AG=(1-x),*E_P8;
PENMAN_TOTAL_SEP=(1-x),*E_P9;PENMAN_TOTAL_OCT=(1-x),*E_P10;PENMAN_TOTAL_NOV=(1-x),*E_P11;PENMAN_TOTAL_DIC=(1-
x),*E_P12;
% CALCULO DE LA EVAPORACION TOTAL ACUMULADA AL MES
PENMAN_AC_EN=sum(PENMAN_TOTAL_EN);PENMAN_AC_FEB=sum(PENMAN_TOTAL_FEB);PENMAN_AC_MAR=sum(PENMAN_TOTAL_MAR);PENMAN_AC_A
BR=sum(PENMAN_TOTAL_ABR);
PENMAN_AC_MAY=sum(PENMAN_TOTAL_MAY);PENMAN_AC_JUN=sum(PENMAN_TOTAL_JUN);PENMAN_AC_JUL=sum(PENMAN_TOTAL_JUL);PENMAN_AC
_AG=sum(PENMAN_TOTAL_AG);
PENMAN_AC_SEP=sum(PENMAN_TOTAL_SEP);PENMAN_AC_OCT=sum(PENMAN_TOTAL_OCT);PENMAN_AC_NOV=sum(PENMAN_TOTAL_NOV);PENMAN_AC
_DIC=sum(PENMAN_TOTAL_DIC);
% VECTOR DE EVAPORACION ACUMULADA
PENMAN_ACUMULADO=[PENMAN_AC_EN,PENMAN_AC_FEB,PENMAN_AC_MAR,PENMAN_AC_ABR,PENMAN_AC_MAY,PENMAN_AC_JUN,PENMAN_AC_JUL,PE
NMAN_AC_AG,PENMAN_AC_SEP,PENMAN_AC_OCT,PENMAN_AC_NOV,PENMAN_AC_DIC];
%% VOLUMEN AHORRADO
A=input('A= '); %Area en [m^2]

```

```

Area=A*x;
Evap=PENMAN,/1000; % Evaporacion en superficie libre en [m]
Evap_cub=PENMAN_ACUMULADO,/1000; %Evaporacion en superficie cubierta en [m]
EVAP=Evap-Evap_cub;
Volumen=EVAP,*Area;
%% GRAFICAS FINALES
figure(14)
t=tiledlayout(1,2);
nexttile
plot(mes,PENMAN,'blue',mes,PENMAN_ACUMULADO,'--')
title('COMPARACION DE EVAPORACION (Con y sin superficie cubierta x=30%)')
xlabel('Mes del año')
ylabel('Evaporación [mm]')
grid on
legend('PENMAN','PENMAN CUBIERTA x=30%')
nexttile
bar(mes,Volumen,'green')
xlabel('Mes del año')
ylabel('Volumen [m^3]')
title('Volumen ahorrado en evaporación de agua')
disp(Volumen)
VOL=sum(Volumen);
disp(VOL)
%% REDUCCION EN EVAPORACION
reduccion=((PENMAN-PENMAN_ACUMULADO),/(PENMAN)),*100;
RE=mean(reduccion);
disp(RE)

```