



Terra. Nueva Etapa
ISSN: 1012-7089
ISSN: 2542-3266
vidal.saezsaez@gmail.com
Universidad Central de Venezuela
Venezuela

Aprovechamiento alternativo y sostenible de los recursos hídricos de Caracas

Serafín, Yunan

Aprovechamiento alternativo y sostenible de los recursos hídricos de Caracas

Terra. Nueva Etapa, vol. XXXV, núm. 57, 2019

Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72163802003>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Aprovechamiento alternativo y sostenible de los recursos hídricos de Caracas

Alternative and sustainable supply of water resources of Caracas

*Yunan Serafín **
Universidad Central de Venezuela, Venezuela
yunanserafin@hotmail.com

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72163802003>

RESUMEN:

En el presente artículo se estudia el abastecimiento del recurso hídrico en el Área Metropolitana de Caracas, mediante la evaluación de las fuentes de suministro, de datos de las estaciones meteorológicas y a través del análisis de la población de cada municipio. Se exponen las áreas con mayor déficit de suministro de agua por parte del sistema convencional de abastecimiento, como también las causas de esta problemática. Se deja en evidencia que construir represas y embalses para el suministro de agua es inviable a largo plazo y ecológicamente insostenible. Por ello, en la presente investigación se verá reflejado un enfoque diferente de aprovechamiento del recurso hídrico, donde no solo se toman en cuenta las aguas superficiales y las subterráneas, sino que se tienen en consideración los volúmenes de agua en la atmósfera, que se pueden aprovechar mediante su condensación y posterior precipitación. Tomando en cuenta la superficie de todos los techos de las edificaciones del área de estudio, la lámina de agua precipitada promedio de los últimos años, y los requerimientos mínimos de suministro de agua por habitante por día, se presenta el potencial de abastecimiento de agua en cada municipio de Caracas.

PALABRAS CLAVE: Agua, abastecimiento, aprovechamiento, precipitaciones, lluvia.

ABSTRACT:

This article studies the supply of water resources in the Metropolitan Area of Caracas, through evaluation of sources of supply, data from meteorological stations and the analysis of the population of each municipality. In this document is exposed the areas with the greatest water supply deficit by the conventional supply system, as well as the causes of this problem. It is clear for the author that building dams and reservoirs for water supply is unfeasible in the long term and ecologically unsustainable. Therefore, in the present investigation, a different approach to the use of water resources is reflected, where not only surface water and groundwater are taken into account, but also the volume of water in the atmosphere, that can be exploited by its condensation and subsequent precipitation. Taking into account the surface of all the roof of the buildings of the study area, the sheet of water precipitated in recent years, and the minimum requirements of water supply for the person per day, we get the potential of water supply in each municipality of Caracas.

KEYWORDS: Water, supply, use, precipitation, rain.

INTRODUCCIÓN

Resulta común escuchar que Venezuela es un país rico por su abundancia en recursos naturales, entre ellos, el recurso hídrico. Sin embargo, también es común observar el padecer de sus habitantes quienes son objeto de racionamiento y escasez de suministro continuo de agua. Es un hecho paradójico que dicha plétora hídrica no tenga una correspondencia con la satisfacción en la demanda de la población.

Es un axioma el hecho de que para que todo ser vivo pueda vivir y desarrollarse necesita agua. Así como la sangre de cualquier ser viviente posee agua, el ser humano está constituido por este líquido. De modo que

NOTAS DE AUTOR

- * Yunan Antonio Serafín González. Licenciado en Geografía de la Universidad Central de Venezuela (2015). Diplomado en Gestión Ambiental Urbano Municipal del Centro de Estudios Integrales del Ambiente y Campus Sustentable UCV (2016). Cursa estudios de Maestría en Planificación Urbana, Mención Política y Acción Local en la Universidad Central de Venezuela. Coordinador de Planificación Ambiental en el Instituto Municipal de Ambiente Chacao. Correo electrónico: yunanserafin@hotmail.com.

la disponibilidad, calidad y cantidad serán factores importantes a considerar para el desarrollo de cualquier centro poblado.

Cada ser humano necesita unas cantidades mínimas de agua para vivir, por lo que a partir de aquí tenemos un grave problema, esto debido a que la población mundial cada vez es mayor y el agua es un recurso finito en el planeta, por lo tanto, las necesidades de agua aumentarán. En teoría, el agua que consumimos hoy día es la misma de hace millones de años, con la diferencia que cambió de estado durante los sucesivos ciclos hidrológicos. Ahora, si bien poseemos a nivel mundial grandes cantidades de agua, el estado y la calidad de la mayor parte de ésta difiere de las características que necesitamos. A grandes rasgos, necesitamos agua que esté en estado líquido y que sea dulce, es decir, aquella cuya concentración salina es menor de 0,05 % (Ramírez y González, 2005). Sin embargo, la presente investigación se centrará en la parte de cuantificación del recurso, más que de su calidad para consumo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lo primero que se realizará es una exposición racional de la frecuencia de abastecimiento de agua en la ciudad de Caracas, esto con datos del censo del Instituto Nacional de Estadísticas para el año 2011.

Luego, se realizará la selección y depuración de las estaciones meteorológicas con datos más recientes (ver anexo 1), en donde se estimarán los datos faltantes de precipitación mediante el método racional (ver anexo 2). Una vez se procesen estos valores, se procederá a triangular y, posteriormente, interpolar la precipitación del año 2016 (año más reciente con dato) para cada estación seleccionada, a fin de generar las isoyetas que en nuestro caso, serán las láminas de agua. Esto con el propósito de espacializar las precipitaciones, en busca de algún patrón de distribución que ayude a explicar sus causas y que conlleve al razonamiento posterior de un posible aprovechamiento idóneo.

Para comprobar los datos suministrados por el INAMEH, y más allá de los datos, comprobar el patrón de distribución, se empleará información de mediciones a través de sensores remotos cortesía de la NASA, con el *Global Precipitation Measurement* (GPM) o Mediciones de Precipitación Global, para el año 2016. Teniendo en cuenta la alta variabilidad que posee la precipitación como elemento climático, se decidió tener en cuenta el promedio de precipitación anual de los tres años más recientes, con datos continuos a través de los sensores remotos (GPM), razón por la cual se eligió el período 2015 a 2017.

Una vez se hayan cartografiado las isoyetas, se multiplicará la lámina de agua anual promedio de cada municipio por la superficie de todos los techos de las infraestructuras de Caracas (calculada mediante el SIG) que cubran dicha magnitud de precipitación, obteniendo así, el volumen potencial (en metros cúbicos) de aprovechamiento de agua de lluvia. Acto seguido, se dividirá entre 365 días y, luego, entre el número de habitantes, esto para conocer el potencial aprovechamiento a nivel diario por cada persona. Una vez tengamos este dato, se multiplicará por 1000 para llevarlo de metros cúbicos a litros, lo que permitirá compararlo con las normas internacionales y nacionales de suministro.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Antes de explicar las fuentes de suministro actual de Caracas, es necesario colocar en contexto la situación del recurso hídrico a nivel mundial y a nivel nacional.

Según algunos cálculos que se han realizado, se estima que la cantidad de agua de toda la tierra es de unos 1.408.000.000 km³ (Gabaldón, 2015; UNESCO, 2006). El inconveniente con esta cantidad, es que el 97,5% pertenece a agua salada que comprende mares y océanos. Lo que deja solo un 2,5% de agua dulce, de este porcentaje, el 68,9% se encuentra en glaciares y en cubiertas de nieve, el 30,8% como agua subterráneas y solo 0,3% agua accesible a la humanidad (Mejía, 2015); es decir, cuerpos superficiales de agua dulce. En otras

palabras, una porción ínfima del total es accesible y tiene la calidad requerida para el consumo humano. Mas, existe otro medio de almacenamiento que muy poco se suele recordar, y es la atmósfera.

Venezuela es un país rico en recursos hídricos. Cuando se divide el volumen total de agua dulce utilizable (en promedio anual), entre el total de la población, se tiene que cada habitante dispone de un volumen de agua de aproximadamente de 47.120 m³ (Gabaldón, 2015; UNESCO, 2006); en otras palabras, cada habitante de la nación tendría una disponibilidad de agua de 129.096 litros al día. El problema radica en la ubicación geográfica de estos recursos en relación a la población. En la siguiente imagen se aprecia de manera más visual esta afirmación.



FIGURA 1
Distribución de la población y de los recursos hídricos de Venezuela
Fuente: Elaboración propia con base en datos de Gabaldón (2015).

El 90% del agua dulce en el país se localiza a la margen derecha del río Orinoco, donde se emplaza el 7% de la población, mientras que, donde se encuentra el 93% de la población, existe solo un 10% del agua dulce total.

A nivel internacional se han convenido unos requerimientos mínimos de agua dulce y potable para cada habitante por día. La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece como mínima cantidad de suministro 100 litros/habitante/día.

Otros autores plantean que 125 litros/habitante/día debería ser la cantidad mínima, siendo este valor el promedio de agua consumida por cada habitante en España en el 2006 (Consumer, 2006). La OMS plantea que 180 litros/habitante/día es un consumo irresponsable de agua potable. La norma sanitaria nacional establece un tope de consumo de 250 litros/habitante/día.

En condiciones normales Caracas recibe 18.500 litros de agua por segundo cada día, que provienen de los embalses Taguaza, Camatagua y Lagartijo; por lo que cada Caraqueño debería disponer de al menos 400 litros de agua cada día (Martelo, 2015), mas, este valor es solo teórico, ya que en la praxis los ciudadanos de Caracas expresan deficiencias en la distribución y continuidad del servicio, como se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO 1

Frecuencia de abastecimiento de agua a la población de Caracas por parroquias (2011).

Parroquias	Frecuencia con que llega el agua			
	Todos los días	Cada dos o tres días	Una vez por semana (Cada 8 días)	Una vez cada quince días
Altagracia	73	25	1	1
Antímano	50	15	10	24
Candelaria	94	5	0	0
Caricuao	86	11	3	0
Catedral	87	12	0	1
Coche	92	7	1	0
El Junquito	24	11	15	50
EL Paraíso	93	6	1	1
El Recreo	94	6	0	0
El Valle	57	20	18	5
La Pastora	82	11	6	1
La Vega	55	14	27	4
Macarao	63	18	14	6
San Agustín	95	4	0	0
San Bernardino	89	10	1	0
San José	75	24	1	0
San Juan	93	6	1	0
San Pedro	98	2	0	0
Santa Rosalía	74	13	12	1
Santa Teresa	96	4	0	0
Sucre	62	19	8	11
23 de Enero	82	17	1	0
El Cafetal	87	12	0	0
Baruta	81	13	5	1
Las Minas de Baruta	86	13	1	0
Chacao	99	1	0	0
El Hatillo	76	15	4	5
Petare	76	14	6	4
Caucagüita	24	19	33	24
Fila de Mariches	27	7	8	58
La Dolorita	30	30	16	24
Leoncio Martínez	95	5	0	0
Promedio	75	12	6	7

Fuente: Elaboración propia con base en datos porcentuales del Censo del INE 2011

En el cuadro anterior se reflejan los porcentajes de cobertura, donde las poblaciones más afectadas son Fila de Mariches, Caucagüita y La Dolorita por el este de Caracas (municipio Sucre), con una cobertura de abastecimiento diario de 24 a 30%; mientras que la población con menor cobertura al oeste de Caracas se localiza en la parroquia el Junquito, donde solo el 24% de la población posee una frecuencia diaria de suministro de agua potable, pero el 50% de esta la población afirma que le llega una vez cada quince días, situación grave, si comprendemos la importancia del recurso hídrico. La parroquia Antímano es otra que posee carencias de suministro continuo de agua potable, donde solo el 50% de la población posee abastecimiento diario, 15% 2 a 3 días, 10% una vez por semana y 24% cada quince días.

CUADRO 2

Frecuencia de abastecimiento de agua a la población de Caracas por municipios (2011).

Municipios	Frecuencia con que llega el agua			
	Todos los días	Cada dos o tres días	Una vez por semana (Cada 8 días)	Una vez cada quince días
Libertador	77.89	11.74	5.52	5.07
Baruta	84.77	12.78	1.94	0.51
Chacao	98.66	1.29	0.04	0.00
El Hatillo	75.64	15.05	4.35	4.96
Sucre	50.49	14.78	12.69	22.03

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo del INE 2011.

Analizando de manera más general, observamos cómo el municipio con mayor déficit de suministro continuo es el municipio Sucre, con solo un 50,49% de su población abastecida de manera diaria con agua potable. Le siguen el municipio el Hatillo y Libertador con 75,65 y 77,89%, respectivamente.

Si bien estos datos reflejan una problemática muy apremiante, esto fue diagnosticado para 2011, gracias al Censo llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadísticas. Después de 7 años, el problema es aún mayor, donde municipios como Chacao presentan frecuencias de abastecimiento de más de 15 días, y no se vislumbran al corto o mediano plazo posibles soluciones.

Según el Observatorio Venezolano de Conflictividad Social, solo para el mes de octubre de 2018 se registraron 123 protestas en el Distrito Capital, donde la principal exigencia estaba orientada hacia los servicios básicos, entre ellos, el suministro de agua potable.

Hay razones más que suficientes para estudiar todo el sistema de suministro de agua, con la finalidad de hacerlo más eficiente. Una causa del déficit de suministro se le atribuye a la falta de inversión en materia de creación de embalses y represas; se ha hecho hincapié en que el sistema Tuy IV (represa del río Cuira) debería estar en funcionamiento, mas, sigue en fase de construcción. De modo que la población crece más rápido de lo que aumentan los servicios. Por otro lado, existe una falta de inversión y renovación de las tuberías, por lo que muchas presentan fugas, lo que representan una pérdida significativa de caudal.

CUADRO 3

Tipo de abastecimiento de agua potable en las viviendas de Caracas (2011)

Municipios	Abastecimiento de agua														Total				
	Acueducto o tubería	%	Camión cisterna	%	Pila pública	%	Pozo con tubería	%	Pozo o manantial	%	Aljibes o jagüeyes	%	Río, caño, Qda.	%		Lago, laguna	%	Otros medios	%
Libertador	518833	98	2493	0	4085	1	2240	0	1281	0	35	0	109	0	58	0	1560	0	530694
Baruta	69881	97	1160	2	22	0	162	0	582	1	30	0	51	0	7	0	151	0	72046
Chacao	23189	99	23	0	7	0	46	0	1	0	4	0	9	0	2	0	27	0	23308
El Hatillo	14471	84	1734	10	26	0	134	1	562	3	3	0	105	1	145	1	131	1	17311
Sucre	164548	98	2211	1	279	0	444	0	209	0	9	0	364	0	11	0	653	0	168728
Promedio		95		3		0		0		1		0		0		0		0	100

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo del INE 2011.

En promedio, el 95% de las viviendas de Caracas se abastece de acueducto o tubería, siendo Hidrocapital el organismo encargado del suministro; mientras que un 3% de las mismas se abastece por camiones cisternas, algo que es insostenible desde el punto de vista económico (costo de transporte) y ecológico (emanación de contaminantes por camiones cisternas). El municipio que más usa el sistema de cisternas es El Hatillo con un 10% de sus viviendas siendo abastecidas por este medio, es decir, 1.734 viviendas. Debemos recordar que

El Hatillo es un municipio de gran extensión territorial, y que posee solo un 75,6% de viviendas que reciben un agua potable de manera diaria.

Como sociedad inteligente y racional, debemos buscar fuentes y mecanismos alternos de extracción del recurso hídrico.

Los medios de aprovechamiento del recurso hídrico se pueden clasificar, a grandes rasgos, en tres:

- Medio superficial: Constituido por ríos, quebradas, lagos, lagunas, embalses, represas y el mar.
- Medio subterráneo: Conformado por el manto freático (agua en el suelo) y acuíferos (agua en la roca).
- Medio atmosférico o aéreo: Agua en las masas de aire o atmósfera en general.

En Venezuela se han utilizado todos los medios, siendo la extracción del medio superficial el más practicado para abastecer a la ciudad de Caracas. Sin embargo, existen algunas consideraciones a tener presente respecto al aprovechamiento del agua superficial:

APROVECHAMIENTO SUPERFICIAL DE AGUA DULCE

Existe un impacto ambiental muy importante, sobre todo en la biodiversidad, ya que por lo general existen interferencias, colisiones y entrapamiento de los organismos acuáticos en el sistema de captación. Otro problema está en la descarga de lodos procedentes de los sedimentadores y aguas de lavado de filtros. La reducción de los caudales de las quebradas y ríos es otra consecuencia de la captación de aguas superficiales.

Para la distribución y bombeo del agua se necesitan grandes cantidades de energía, en magnitudes proporcionales a la lejanía del recurso. Además, a mayor distancia del cuerpo de agua, existe mayor probabilidad de fugas y, por consiguiente, mayor vulnerabilidad de dejar sin suministro continuo a la población de destino.

El más devastador de los impactos, en el caso de los embalses y represas, es que se deben inundar grandes extensiones de territorio, causando la pérdida de biodiversidad y de espacio vital. Si seguimos este patrón de extracción-consumo, deberíamos inundar cada vez más espacio terrestre que poseen bosques, matorrales, herbazales y con la fauna asociada a éstas formaciones vegetales. Solo por mencionar un ejemplo: en Venezuela existen aproximadamente 6.325 km² de territorio inundado, dedicado a la represa y suministro de agua; de seguir este modelo de aprovechamiento de agua, cuando Venezuela duplique su población necesitará, aproximadamente, otros 6.325 km² de territorio para ser inundado (una superficie similar a la del estado Miranda), eliminando cualquier vestigio de vida terrestre.

Por lo general, cuando se tratan las amenazas a la biodiversidad de nuestro país, se piensa en la deforestación por tala, quema u otros medios. Sin embargo, la pérdida de biomasa producto de las inundaciones resulta mucho peor, ya que en un medio deforestado por tala o quema pueden comenzar a crecer hierbas y matorrales en poco tiempo, de modo que la vida terrestre puede resurgir; mientras que en el medio acuático esto no podría ocurrir, la vida terrestre estaría destinada a perecer y no lograr recuperarse en ese espacio definido. Debemos recordar que Venezuela es un país mega diverso y si queremos seguir siéndolo, es necesario preservar el ambiente físico natural, incluyendo el medio terrestre. La pérdida de espacio y biodiversidad no puede ser el precio a pagar por poseer agua en las ciudades. Allí es donde Caracas funge un rol de gran importancia como ciudad ejemplo para el resto de estados de menor jerarquía en el país (en población, actividad económica, etc.).

APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE MAR

El agua de mar es aprovechada a nivel nacional en áreas donde el agua dulce escasea, principalmente hacia Falcón y Nueva Esparta; mas en el caso de Caracas, este recurso se localiza lejos por los accidentes geográficos, como lo es el Ávila.

Al igual que ocurre con el aprovechamiento superficial de agua dulce, también existen colisiones y entrapamientos de fauna, en este caso, marina. Existen cambios en la calidad del agua, producto de la disposición de concentrados de sales. También se consumen grandes cantidades de energía, lo que conlleva a una mayor contaminación atmosférica. También es frecuente que las bombas y maquinarias generen mucho ruido, es decir, contaminación acústica o sónica, por lo que debe estar lejos de centros poblados y, por último, generan contaminación térmica del agua circundante, lo que puede alterar el ecosistema adyacente. De modo que, no es del todo recomendable utilizar este medio de extracción.

APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Este tipo de aprovechamiento se ha hecho cada vez más común, producto de la falta de suministro continuo por parte del sistema convencional. En Caracas se han inventariado unos 400 pozos, con profundidades variables (de 40 a 120 metros), con una extracción estimada de 1,5 m³/s (Córdova y González, 2007) lo que equivaldría a 129.600 m³/día, lo que es igual a 129.600.000 litros/día; si este valor lo dividimos entre la población de Caracas para el 2019 (3.644.914 habitantes), tenemos que se pueden aprovechar en promedio 35,55 litros/hab/día (2016), lo que equivale a un 28,44% de demanda cubierta si se tiene como mínimo de suministro 125 litros/habitante/día. Si proyectamos el potencial de aprovechamiento a largo plazo tenemos que, para la población estimada de 2020 (3.737.481 habitantes), se pudiesen suministrar 34,68 litros/hab/día, lo que equivale al 27,74% de la demanda total.

La importancia de este tipo de aprovechamiento radica en que se puede cubrir un tercio de la demanda mínima total, con un recurso que no necesita recorrer grandes distancias ni consumir cuantiosas cantidades de energía para llegar a su destino, ya que el recurso se encuentra debajo de la ciudad.

Por lo general, el agua subterránea presenta las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo o la roca que la alberga, de modo que necesita un estudio y un posterior tratamiento antes de ser suministrada. Por otro lado, la extracción masiva de este recurso puede generar procesos de subsidencia, o lo que es igual al hundimiento o depresión de una parte de la superficie terrestre, lo que representa un factor de amenaza y, por consiguiente, de riesgo para las infraestructuras y sus habitantes.

En la siguiente figura se muestra una imagen donde se reflejan los procesos de depresión del terreno en la ciudad de Las Vegas en los Estados Unidos, producto de la extracción masiva de los cuerpos de agua subterráneos. De color rojo se aprecia el movimiento 5 centímetros aumentando al amarillo y verde en hundimientos de 10 centímetros.

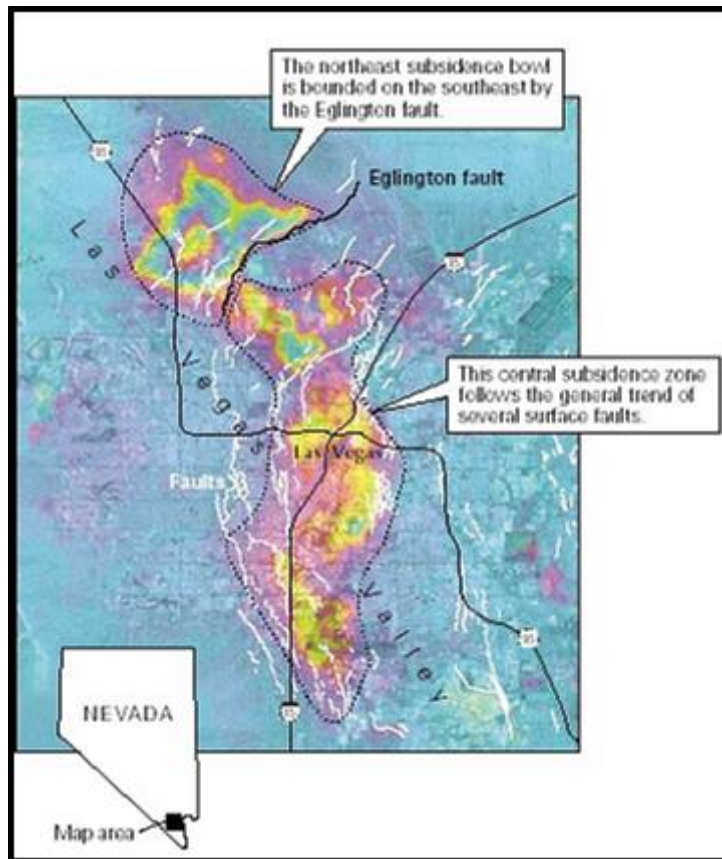


FIGURA 2
Interferograma (1992-1997) de la ciudad de Las Vegas.
Fuente: Amelung *et al.*, 1999.

En la siguiente imagen se aprecia de manera más visual y contundente estos hundimientos sobre las edificaciones en la ciudad.



FIGURA 3
Fotografía de una casa con daños estructurales producto del proceso de subsidencia en Windsor Park al norte de Las Vegas
Fuente: Bell, 1992.

Por lo que no es recomendable tener este sistema de aprovechamiento en áreas urbanas, principalmente en áreas con edificaciones de alturas significativas cuyo peso acelera el proceso de subsidencia ante la extracción del agua.

Este proceso lo reseña Strahler (1987):

“Un efecto ambiental serio por la extracción excesiva de agua subterránea es el hundimiento del terreno, que es particularmente grave en los lugares donde se bombea agua de gruesos lechos de sedimentos no consolidados. Estos lechos están formados por grava, arena y sedimentos situados bajo el fondo de los valles anchos. A medida que va bajando el nivel freático, los sedimentos limosos que llegan al interior de la zona de aireación se van compactando bajo la carga de las capas adyacentes”. (p.403)

APROVECHAMIENTO DE AGUA EN LA ATMÓSFERA

Este es el medio que menos se tiene en cuenta a la hora de planificar el aprovechamiento de los recursos hídricos. Al igual que el suelo y las rocas, el aire es capaz de albergar agua. La humedad se expresa de manera relativa siendo 100% saturación completa (precipitación) y 0% aire seco, la fórmula para dicho cálculo se basa en la división de la humedad absoluta actual (cantidad de agua) entre la humedad máxima absoluta (cantidad de agua que es capaz de absorber una masa de aire). Se puede medir utilizando un higrómetro.

En términos generales, el agua de lluvia tiende a ser de muy buena calidad, J. Bazant (2010) expone lo siguiente referente al agua de lluvia:

El agua de lluvia es prácticamente pura, ya que no entra en contacto con la tierra ni absorbe sus minerales ni sales. Por lo tanto, es de mejor calidad que el agua extraída de pozos o ríos a los que se les filtran contaminantes por descargas sanitarias o industriales a cielo abierto, o por absorción de fertilizantes y pesticidas en áreas agrícolas. Lo único que afecta al agua de lluvia son las emisiones industriales atmosféricas, especialmente en ciudades con industria pesada; solo en este caso habría que utilizar un proceso de potabilización. (p.70).

El sistema de aprovechamiento de agua de lluvia es muy sencillo de implementar, consta de utilizar el techo de la edificación, el cual posee un sistema de desagüe por diseño, que va al sistema de aguas grises de la ciudad.

La idea es conectar dicha tubería a un tanque que posea una serie de filtros y, luego, a través de una bomba de (al menos) medio caballo de fuerza, llevar el agua tratada a la red del suministro interno de la edificación.

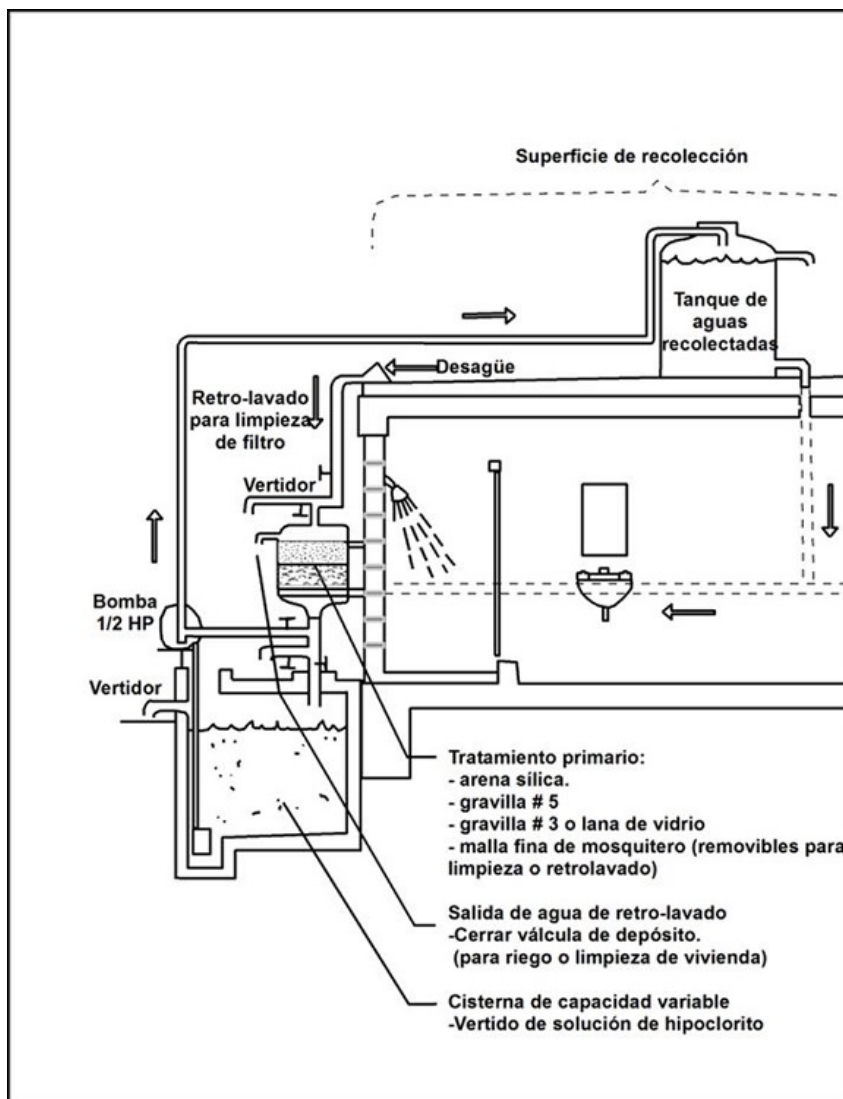


FIGURA 4
 Sistema de aprovechamiento de agua de lluvia
 Fuente: Modificado de Bazant (2010).

Para evaluar el potencial de aprovechamiento del agua de lluvia en Caracas, es necesario saber cuánto llueve y cuál es la superficie de todos los techos. Si multiplicamos la superficie de todos los techos (en metros cuadrados) por la lámina de agua anual (en metros), obtenemos el volumen de agua anual que se puede aprovechar.

Para el análisis de los datos terrestres, se tomará el año más reciente con datos completos, en este caso 2016. A continuación, se presentan las estaciones seleccionadas que se interpolarán mediante el sistema de Información Geográfica.

CUADRO 4
Precipitación anual 2016

Estaciones	Longitud	Latitud	Precipitación (mm)
Cajigal	-66,92083	10,509722	987,3
Caracas-Ciudad Universitaria	-66,88678	10,49415	1429,2
Macarao La Culebra	-67,05278	10,4275	1018,2768
Humboldt	-66,88	10,54	1185,421
Caracas UNEXPO	-66,93073	10,492237	966,2
Caracas Pedro Emilio Coll	-66,92316	10,450944	782,6
Caracas La Carlota-OMM	-66,85062	10,48821	2159
Sabanetón	-67,14432	10,3591	1398,215407
INAMEH Pluvio	-66,88957	10,40399	1022,038882
Guatire	-66,53045	10,48212	836,6

Fuente: INAMEH 2017.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Al interpolar los datos de precipitaciones del Área Metropolitana de Caracas y de su contexto, se refleja un patrón de altas precipitaciones al sur del municipio Chacao, específicamente, en la Base Aérea La Carlota. Las posibles causas de este patrón las explicaremos más adelante.

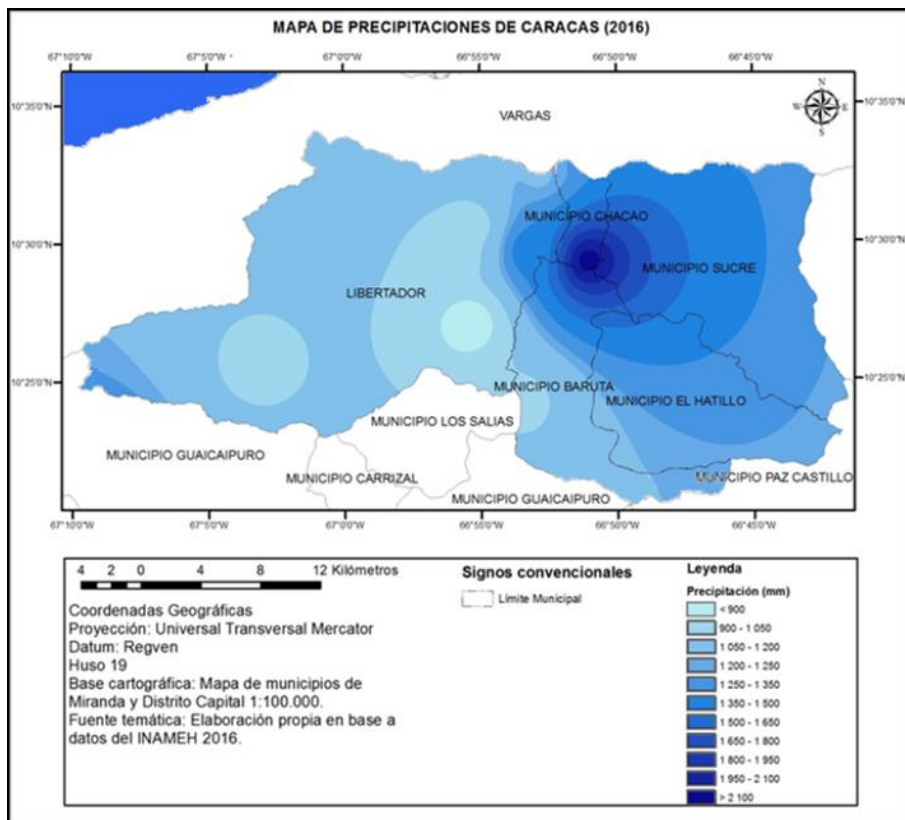


FIGURA 5
 Isoyetas de Caracas 2016

Lo importante del mapa anterior está en resaltar que, al igual que la distribución de las aguas superficiales y subterráneas, la distribución de las precipitaciones se manifiesta de manera desigual en la ciudad de Caracas. Conocer dicha distribución nos dará una ventaja a la hora de planificar un posible aprovechamiento de esta agua.

Al emplear datos de sensores remotos para el mismo período de 2016, se aprecia un patrón muy similar, sin embargo, no refleja dicho valor extremo de 2159 mm que presentó la estación meteorológica de La Carlota. Para ese período reflejó una lámina de agua precipitada levemente superior a los 1250 mm, como se ve en el siguiente mapa.

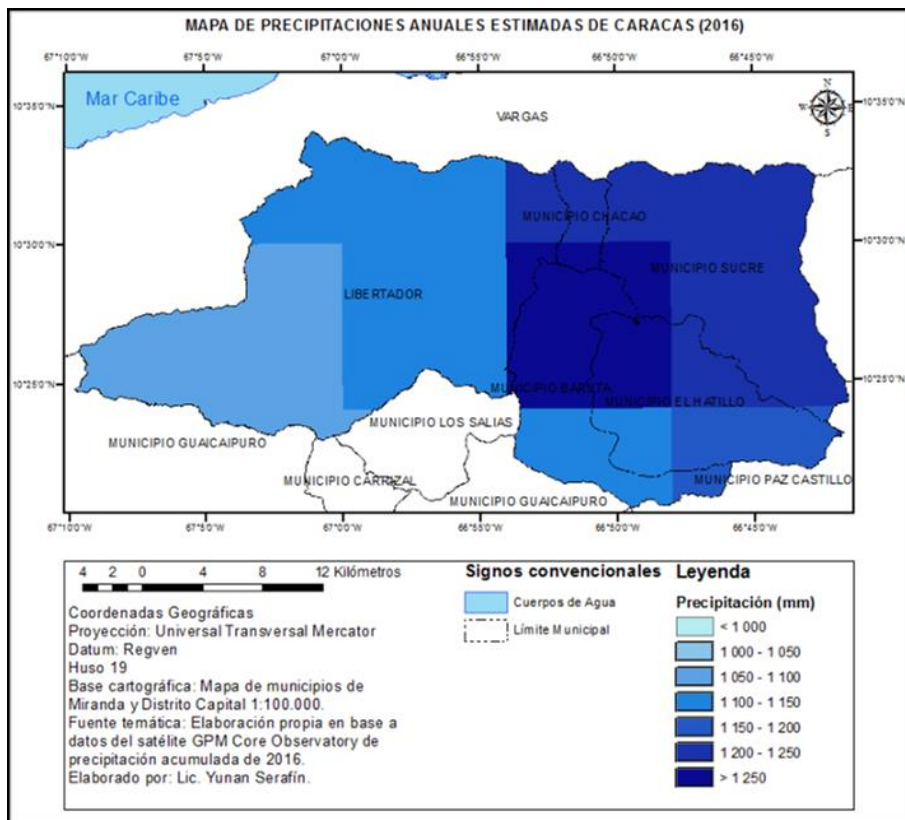


FIGURA 6
 Isoyetas de Caracas a través de GPM 2016.

Sería inapropiado tomar en cuenta solo un año para la modelación de las precipitaciones y estimar el potencial de aprovechamiento de aguas de lluvia, esto, principalmente, porque el año 2016 fue un año Niña que se caracterizó por elevadas precipitaciones; además, la región caraqueña se caracteriza por ser muy influenciada por estos fenómenos climáticos (ver figura 9). Por estas razones, se decidió tomar 3 años recientes para el análisis, 2015, 2016 y 2017 lo que originaron los siguientes resultados.

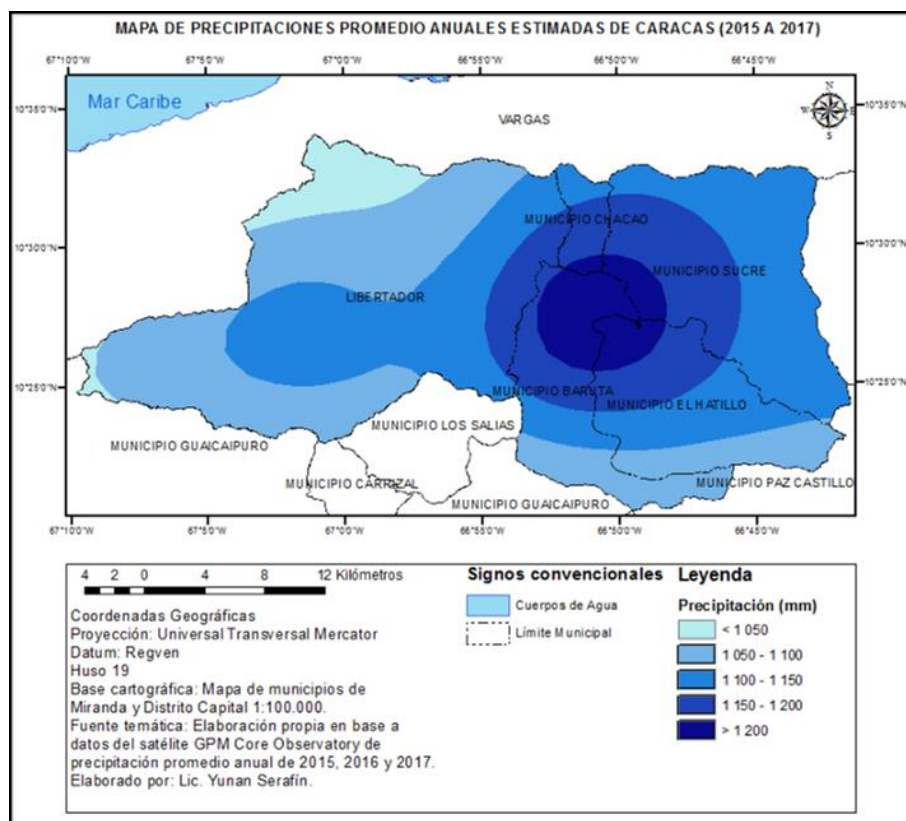


FIGURA 7
Isoyetas de Caracas a través de GPM 2015 a 2017

Al completar la interpolación de los resultados de sensores remotos, se evidencia el núcleo perenne de altas precipitaciones alrededor de la base aérea La Carlota, con valores superiores a 1200 mm, y precipitaciones menores distribuidas radiocéntricamente a este núcleo. Al igual que en el mapa para 2016, persisten las bajas precipitaciones hacia el oeste de Caracas, específicamente, en el municipio Libertador, con precipitaciones menores a 1050 mm.

CUADRO 5
Superficie de techos de Caracas

Municipio / Isoyeta (mm)	Superficie de techos de edificaciones (m ²)					Total
	1200	1150	1100	1050	1000	
Baruta	5015846,59	2321699,40	164914,95	227410,55	0	7729871,49
Chacao	491051,46	2062562,03	0	0	0	2553613,49
El Hatillo	893201,77	1301555,42	124210,69	27821,86	0	2346789,74
Libertador	0	4176780,45	14039335,83	11991088,02	486550,46	30693754,75
Sucre	2702564,04	7224140,71	247544,10	0	0	10174248,85

Una vez calculada la superficie (en metros cuadrados) de todos los techos de las edificaciones en cada municipio dentro del Área Metropolitana de Caracas, se procedió a multiplicar dicho valor por la isoyeta

promedio de 2015 a 2017 (en metros), que sería en este caso la lámina de agua, permitiendo conocer el volumen de agua aprovechable de Caracas (en metros cúbicos), como se muestra en el cuadro a continuación:

CUADRO 6
Volumen potencial de agua de lluvia aprovechable de Caracas

Municipio /Isoyeta (m)	Volumen de agua aprovechable de techos (m ³)					Total
	1,2	1,15	1,1	1,05	1	
Baruta	6019015,90	2669954,31	181406,45	238781,07	0	9109157,74
Chacao	589261,75	2371946,34	0	0	0	2961208,09
El Hatillo	1071842,13	1496788,73	136631,75	29212,96	0	2734475,57
Libertador	0	4803297,51	15443269,41	12590642,42	486550,46	33323759,80
Sucre	3243076,85	8307761,82	272298,51	0	0	11823137,18

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la NASA (2015-2017) y con cálculos propios.

A simple vista, puede verse como el municipio con mayor volumen aprovechable es Libertador con más de 33,3 millones de metros cúbicos de agua, no obstante, aún no se relaciona con la demanda hídrica mínima de la población.

CUADRO 7
Aprovechamiento del agua de lluvia en el Área Metropolitana de Caracas (2019).

Municipio	Población humana (2019)	Potencial de captación de agua de lluvia (m ³ /año)	Potencial de captación de agua de lluvia (Litros/año)	Potencial de captación de agua de lluvia (Litros/día)	Potencial de captación de agua de lluvia (Litros/hab/día)	Cobertura de necesidades hídricas por agua de lluvia (%)
Baruta	400497	9109157,74	9109157739	24956596,54	62,31	49,85
Chacao	80213	2961208,09	2961208088	8112898,87	101,14	80,91
El Hatillo	93676	2734475,57	2734475569	7491713,89	79,97	63,98
Libertador	2319519	33323759,8	33323759802	91297972,06	39,36	31,49
Sucre	751009	11823137,18	11823137179	32392156,65	43,13	34,51
Total	3644914	59951738,38	59951738377	164251338,02		

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo del INE (2011), IMUTC (2011), NASA (2015-2017) y cálculos propios.

En el cuadro anterior se reflejan las poblaciones humanas estimadas de los distintos municipios que integran el Área Metropolitana de Caracas para 2019, el volumen en metros cúbicos y en litros de agua de lluvia que pudiesen aprovecharse anualmente y por habitante por día.

El municipio que posee mayor potencial de cobertura de agua de lluvia es Chacao, con un importante 80,91% de la demanda cubierta, teniendo en cuenta un suministro mínimo de 125 litros por habitante por

día. Este gran potencial se debe, principalmente, a la concentración de precipitaciones de la región al sur de dicho municipio, además, de que esta entidad posee poca población respecto a los demás municipios.

El segundo municipio con mayor potencial de cobertura de la demanda hídrica es El Hatillo, con una cobertura porcentual de la demanda del 63,68%. Esto motivado a que El Hatillo se caracteriza por la gran cantidad de viviendas unifamiliares, lo que propicia la baja densidad, es decir, no es lo mismo abastecer de agua de lluvia un solo nivel de una edificación con 5 habitantes en promedio, que a una edificación con 3 o más niveles con 30 o más habitantes.

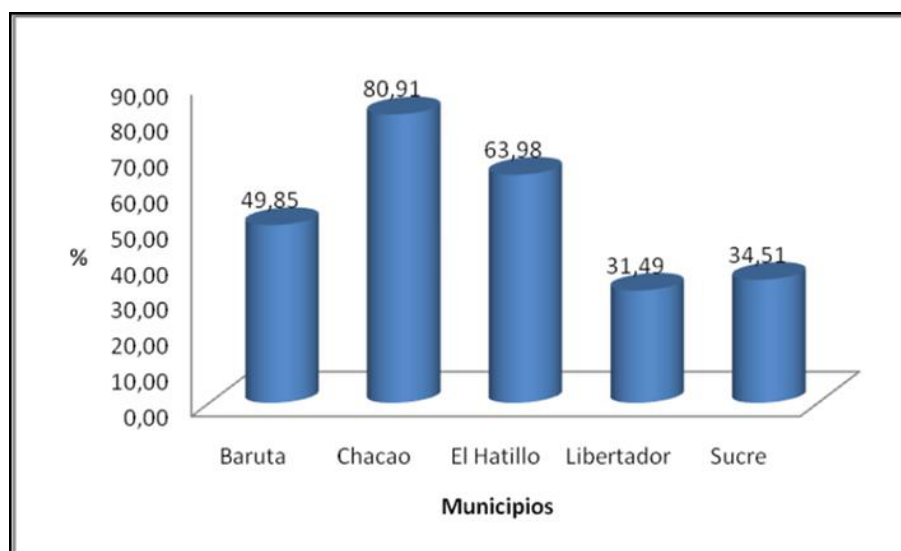


FIGURA 8

Porcentaje de cobertura de demanda de agua potable a través de agua de lluvia en Caracas 2019

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo del INE (2011), IMUTC (2011), INEMEH (2016) y cálculos propios.

En tercer lugar en cuanto a cobertura, se encuentra Baruta con un 49,85%, lo que significa que cada ciudadano del municipio en cuestión podría suplirse de al menos 62,31 litros de agua proveniente de la lluvia cada día. Los factores principales de este aprovechamiento son las altas precipitaciones al norte del municipio y la tipología de las viviendas, que se caracterizan por ser de tipo unifamiliar.

Los municipios Sucre y Libertador se encuentran entre los que poseen menor potencial para cubrir la demanda hídrica a partir de la lluvia, con un 34,51 y 31,49% respectivamente. Libertador es el municipio con menor cobertura, producto de las bajas precipitaciones y de su alto número de habitantes principalmente.

Es importante destacar que el potencial de aprovechamiento del agua de lluvia fluctuará dependiendo, principalmente, de la magnitud y constancia de las precipitaciones, algo que sabemos que es variable e impredecible; mas, buscando el componente determinista de la estocasticidad de las variaciones de precipitación, podemos afirmar que habrán años secos cuando existan eventos Niños, (donde el potencial del agua de lluvia será menor), y años húmedos cuando existan eventos Niña, (donde la cobertura por agua de lluvia será mayor), ya que en gran parte del área de estudio se encuentra influenciada por dichos eventos del Océano Pacífico Central, como lo manifestó hace unos años Seraffín (2014).

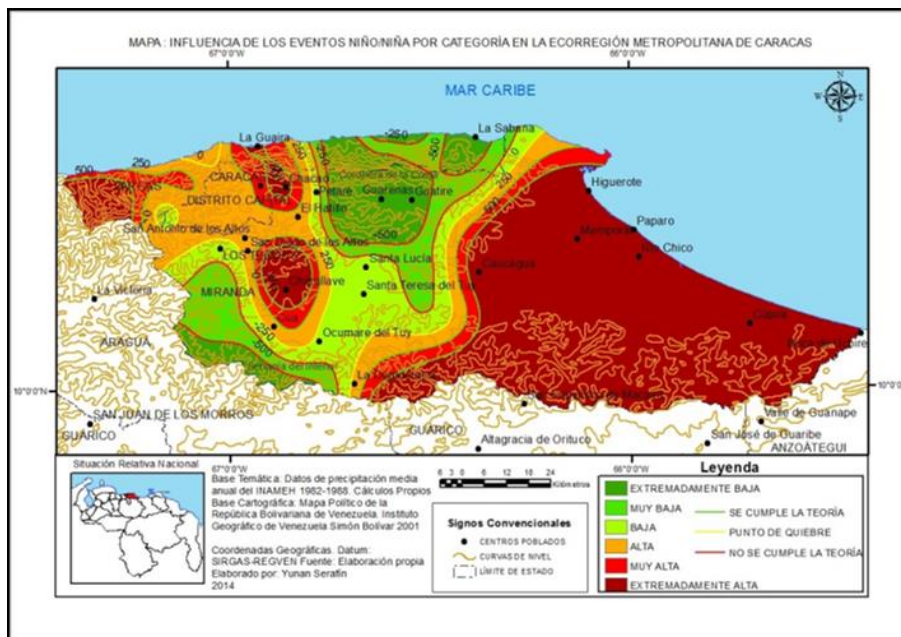


FIGURA 9
Influencia de los eventos Niño/Niña en Miranda, Vargas y Distrito Capit
Fuente: Serafín (2014).

Por otro lado, hay años en los que se rompe el record de lluvia, es decir, que el potencial a futuro puede ser aún mayor a lo expresado en este estudio. Este desequilibrio parte de un principio lógico del que muy pocas personas son conscientes de qué ocurre, lo cierto es que hoy hay mucha más agua en la atmósfera que hace 100 años, esto es debido a que el ser humano, producto de su conocimiento y necesidad por abastecerse de agua dulce, ha extraído grandes cantidades de agua subterránea, llevándola al medio superficial, para participar en el ciclo hidrológico; y que gran parte de ésta se evapora por la transpiración humana, evapotranspiración de las plantas, y por la evaporación al estar en contacto con la radiación y altas temperaturas.

ORÍGENES DE LAS PRECIPITACIONES

Es necesario conocer cuáles son las causas de las precipitaciones, para saber el grado de control y qué poder tener sobre éstas.

El investigador José Guevara (2007) plantea varias clases de lluvias según su origen: frontales y ciclónicas, de convergencia, orográficas y convectivas.

- **Lluvias frontales y ciclónicas**

Encuentro de masas de aire de distintas propiedades que forman una zona de perturbación.

- **Lluvias de convergencia**

Ascenso de aire húmedo producto de la convergencia de vientos. Ejemplos: huracanes, Ondas del este, Zona de Convergencia Intertropical.

- **Lluvias orográficas**

Ascenso de aire húmedo de manera mecánica, producto del relieve.

- **Lluvias convectivas**

Se forman al ascender el aire que ha sido fuertemente calentado *in situ*. El aire caliente, húmedo e inestable, asciende formando nubes cumuliformes de gran desarrollo vertical, para producir lluvias intensas de poca duración. Causan calamidades, deslizamientos en áreas inestables y problemas de circulación del tránsito; y, en las rurales, la pérdida de suelos agrícolas.

Existe un factor muy importante, que muchos estudiosos de las condiciones meteorológicas y climáticas pasan por alto: la vegetación.

- **Lluvias por vegetación.**

Es llamada comúnmente la teoría de la bomba biótica, propuesta por Anastassia Makarieva y Víctor Gorshkov (2010), esta teoría plantea que el potencial de evapotranspiración de las plantas es mayor que el potencial de evaporación de los océanos, es decir, la planta al transpirar emana a la atmósfera masas de aire húmedo, al ascender esta masa, por gradiente adiabático vertical, (o en otras palabras, por el hecho de que la tierra se calienta de adentro hacia afuera, por lo que a mayor altitud habrá menor temperatura), el aire se irá enfriando a medida que asciende, a la vez que se reduce su volumen. Llegará un momento, cuando pase el punto de condensación y precipite toda su humedad, que la masa de aire producirá un vacío (lo que originaría un núcleo de baja presión), y dicho vacío será llenado por masas de aires circundantes, es decir, por masas de aire húmedas provenientes del mar (áreas con mayor presión atmosférica).

Resulta curioso que hace unos años atrás, la vegetación no se consideraba como factor de atracción de lluvia, como lo expresa Foghin (2002, p.14):

“También es usual atribuir, equivocadamente, ciertas propiedades meteorológicas a algunos elementos del paisaje natural, tal como ocurre cuando se afirma que la vegetación “atrae” la lluvia, mientras que lo más frecuente es que el paisaje vegetal sea expresión del clima; es decir, consecuencia de determinadas condiciones térmicas y de humedad, y no causa de las mismas; si bien es cierto que la cobertura vegetal puede determinar ciertas características del microclima, lo cual resalta la importancia del concepto de escala para las diferentes situaciones meteorológicas y climatológicas”.

Esto refleja que se consideraba a la vegetación y a las precipitaciones con una relación unidireccional, donde en clima en general y las precipitaciones en particular, condicionan el tipo y desarrollo de la cobertura vegetal.

En la actualidad, se considera que existe una relación bidireccional, las precipitaciones condicionan la vegetación y viceversa.

La explicación anterior permite conocer el principal causante de estas precipitaciones en Caracas. Los ciclones y huracanes afectan muy poco a Venezuela y si éstos llegaran a incidir en alguna medida, sería a la vertiente norte de la Cordillera del Ávila. Debemos recordar que Caracas se emplaza en la vertiente sur, por lo que podemos descartar este factor. Respecto a si son lluvias orográficas, hay que destacar que, casualmente, las precipitaciones altas se manifiestan en la parte más baja de Caracas, por lo que también se descarta el hecho que sean lluvias orográficas.

También se debe descartar parcialmente a la vegetación como detonante de las precipitaciones elevadas de Caracas, ya que en el núcleo de altas precipitaciones, no es el área donde se localizan las mayores coberturas vegetales, y La base aérea La Carlota, en particular, es un área con poca vegetación producto de su actividad (Córdova, 2018).

Por descarte nos queda solo la temperatura como factor para la creación de núcleos de baja presión atmosférica. La Carlota es el área con temperaturas más elevadas de toda el área de estudio, en algunos casos superando los 32°C (Córdova, 2014).

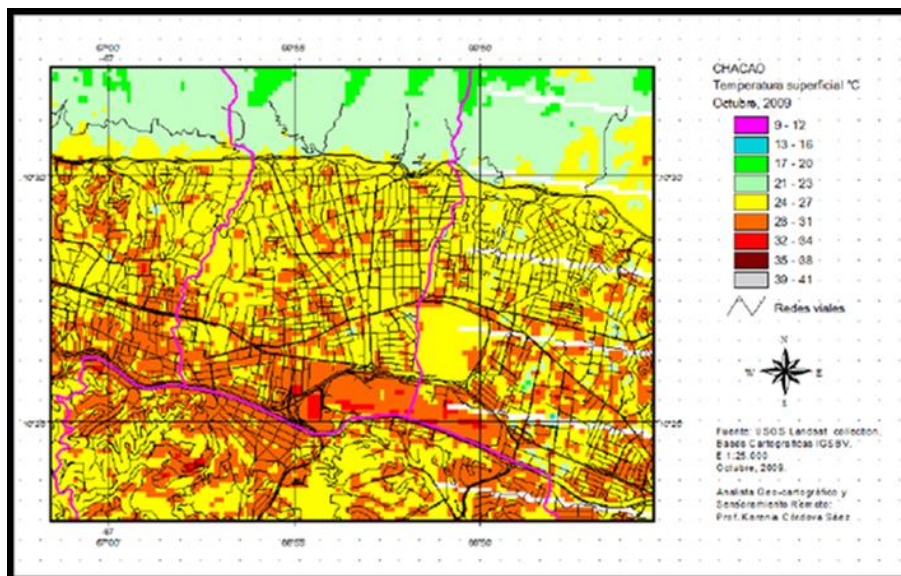


FIGURA 10
Temperatura superficial de Chacao. Landsat 7. Octubre de 2009.
Fuente: Córdova (2014).

El aire al calentarse pierde peso y asciende, lo que genera un núcleo de baja presión, de modo que existe una relación inversamente proporcional entre la temperatura superficial y la presión atmosférica. La Carlota actúa como, lo que llamaríamos en astronomía, una “singularidad” o un agujero negro, que es un espacio que posee tanta gravedad que ni la luz escapa de éste. Las áreas de baja presión atmosférica, al igual que la fuerza de gravedad con la materia, atraen las masas de aire aledañas que poseen mayor presión. Si observamos las precipitaciones de Caracas, vemos como éstas se posicionan de manera concéntrica alrededor de La Carlota, es decir, los vientos predominantes son alisios del noreste, que vienen cargados de humedad, una vez que pasan por esta área de alta temperatura, ascienden y precipitan, impidiendo el paso de las masas húmedas al municipio Libertador, algo que se ve reflejado en sus pocas precipitaciones.

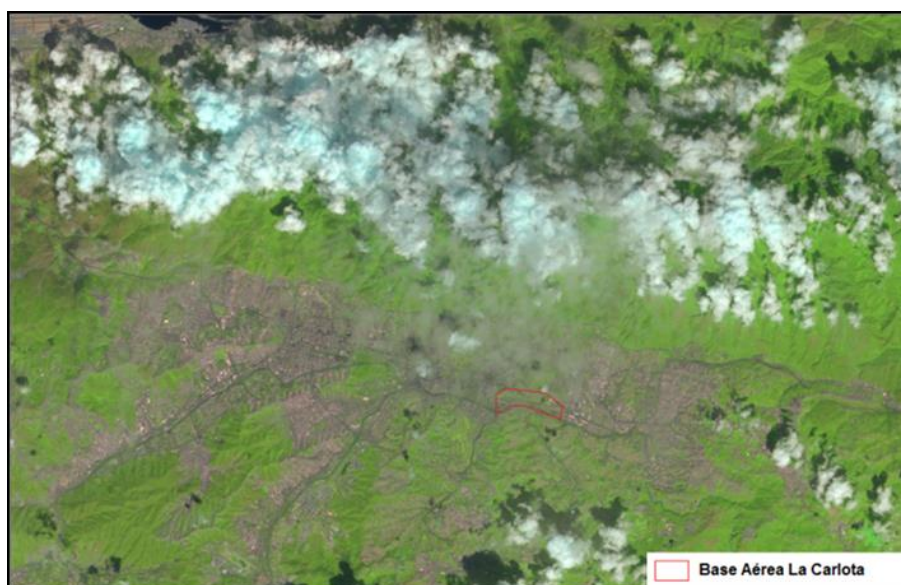


FIGURA 11
Imagen satelital de Caracas a través del satélite Sentinel-2 (16-11-2016).
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Agencia Europea Espacial.

En la imagen anterior se aprecia cómo las nubes chocan contra la cresta de la Cordillera de la Costa o la Cordillera del Ávila (Waraira Repano), siendo retenidas por ésta en la vertiente norte, también, vemos cómo pasan por un sector de esta orografía, justamente al norte del municipio Chacao. Las nubes provenientes del Mar Caribe son atraídas hacia La Carlota, pasando por los valles de las quebradas Chacaíto y Sebucán hasta llegar a la base aérea mencionada, lo que confirma un núcleo de baja presión constante y por lo tanto, ratifica el origen convectivo de las precipitaciones ocurridas en 2016.

Sin embargo, este núcleo de baja presión solo se manifestaría durante el período diurno, es decir, cuando la superficie de La Carlota recibe radiación. Seoáñez (2002) plantea que este efecto genera “nubes de evolución diurna, p256”:

Empiezan a formarse por la mañana, van creciendo hacia el mediodía y por la tarde alcanza su máximo desarrollo. Por la noche, al enfriarse el suelo, cesa la convección y se disipan las nubes, (p.256).

De modo que, otra forma de comprobación sería evaluar si llueve más en período diurno que en nocturno. Lastimosamente, los datos de precipitación a nivel horario no están disponibles al público por parte del INAMEH.

DISCUSIÓN

Si bien se reflejan valores extraordinarios de precipitación para 2016, existe la posibilidad de que exista algún error que sobreestime el dato, ya sea por alguna falla instrumental del pluviómetro o por algún error humano en la toma y registro.

Es por ello que también se utiliza información de sensores remotos especializados en medir precipitación. En la imagen por GPM de precipitación superficial acumulada para 2016, se ve como hay diferencias muy marcadas en cuanto a los valores, en donde el mayor valor de precipitación es de 1255 mm, algo que es muy llamativo si se tiene en consideración la cantidad de precipitación que suministra el INAMEH para el mismo contexto espacio-temporal, de unos 2159 mm.

También se debe considerar que este método posee un margen de error, ya que estima la cantidad de agua precipitada a través de microondas y, además, la resolución de la información es baja, ya que cada pixel con dato equivale a un área de 120 Km.. No obstante, aún con las limitantes en cuanto al nivel de detalle de la información, la data es mucho más precisa y reciente, que la que se ofrece actualmente de las estaciones meteorológicas terrestres.

También es posible que La Carlota no sea el único factor de atracción de la precipitación, existe la probabilidad que la vegetación influya de cierto modo, como los campos de golf de Valle Arriba, o el Jardín Botánico de Caracas, o quizás la sumatoria de todo el arbolado y planta que conviva en la ciudad; por lo que sería interesante hacer un seguimiento del comportamiento de la precipitación con la deforestación o pérdida del arbolado urbano. Aunque, hay que destacar que esto será complicado si se sigue perdiendo registro de las estaciones, o si continua disminuyendo la red a nivel regional y nacional, o si simplemente no se hace pública la data.

A MODO DE CONCLUSIÓN

Caracas es una ciudad que posee gran potencial de aprovechamiento de agua de lluvia, con un volumen potencial anual estimado de 60 millones de metros cúbicos de agua, que se reflejan en la cobertura de las necesidades hídricas en casi la totalidad de algunos municipios como Chacao, y en otros como El Hatillo y Baruta, de al menos la mitad de la demanda cubierta; esto si se decidiera implementar el sistema de captación de agua de lluvia en cada edificación existente.

En municipios como Sucre y Libertador, aún se puede satisfacer al menos un tercio de la demanda hídrica a través del agua de lluvia. Si bien se reflejan datos de potencial abastecimiento de agua de lluvia en litros por habitante por día, es un dato que no toma en cuenta la variabilidad estacionaria de las precipitaciones, es decir, en los meses lluviosos habrá un mayor potencial, mientras que en los meses de sequía el potencial será menor. Por lo que es importante que se publiquen los datos recientes de las estaciones meteorológicas terrestres para hacer el análisis a nivel mensual.

Del análisis presentado, queda expuesto que podemos aprovechar las condiciones de la atmósfera y, por consiguiente, el patrón de precipitaciones de Caracas para el beneficio de la población. Y más allá de modificar nuestro entorno, podemos adaptarnos a las condiciones existentes, con estrategia e inteligencia, de manera que podamos satisfacer gran parte de la demanda con un recurso que se pierde de vista y termina en el sistema de drenajes o, en el mejor de los casos, evaporado. Si se decide aprovechar el agua de lluvia de las áreas con mayores concentraciones de precipitación, se logrará una menor escorrentía de agua superficial, lo que ocasionará menos probabilidad de ocurrencia de inundaciones inclusive.

Es necesario aplicar un plan piloto que permita verificar los datos teóricos presentados en esta investigación. Para ello, sería importante que fuese en una escuela cercana a la isoyeta de mayor magnitud (1200 mm), no solo para captar más agua, sino para educar a los niños con el ejemplo y enseñarles otras opciones de aprovechamiento del recurso, que a diario usan y les otorga calidad de vida.

Una vez evaluada en la práctica la viabilidad de la captación de agua de lluvia en Caracas, otro aspecto sumamente trascendental sería crear un marco legal que normara la construcción de cualquier nueva edificación, haciendo de obligatoria incorporación a la infraestructura, el sistema de captación de agua de lluvia. Estas iniciativas pudiesen fomentarse desde las municipalidades, a través de la creación de ordenanzas donde las direcciones o institutos de Ingeniería Municipal, de Planeamiento Urbano, Obras Públicas y de Ambiente, trabajen en conjunto para generar los requerimientos técnicos, restricciones y artículos de dicho marco normativo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por crear el hogar donde vivo, y a GAIA por ser ese hogar... a mis padres Yurma González y Mario Serafín por el apoyo incondicional.

Al Dr. Antonio De Lisio, profesor titular de la Universidad Central de Venezuela, por motivarme a iniciar esta investigación y al Dr. Vidal Sáez Sáez profesor titular de la Universidad Central de Venezuela por sus observaciones valiosas y asertivas del presente manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amelung F., Galloway D. L., Bell J. W. & Zebker, H. (1999). "Sensing the ups and downs of Las Vegas: InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation". *Geology* 27 (6): 483–486 pp.
- Bazant, Jan (2010). "Hacia un desarrollo urbano sustentable". Editorial Limusa. México. 141 p.
- Bell, J. (1992). "Las Vegas Valley: Land Subsidence and Fissuring Due to Ground-Water Withdrawal". *United States Geological Survey*. [Documento en línea]. Disponible en: https://geochange.er.usgs.gov/sw/impacts/hydrology/vegas_gw/ (Consultado el: 4/03/2019).
- Consumer (2006). "España tiene la tercera tarifa del agua más barata de la UE". Nombre de la publicación. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.consumer.es/web/es/economia_domestica/2006/11/08/157100.php (Consultado el: 16/06/2017).
- Córdova, J. & González, M. (2007). "Hidrografía, cuencas y recursos hídricos". En: *GeoVenezuela*. Tomo 2. Caracas: Fundación Empresas Polar, 330-400 pp.

- Córdova, K. (2014). "Fenómeno de islas térmicas urbanas: su relación con la variabilidad y el cambio climático, y los impactos sobre la salud y el ambiente urbano." Documento presentado en el Simposio "*Desafíos climáticos de hoy para el planeta del mañana*", con el auspicio de la Embajada de Francia y la Corporación Andina de Fomento-CAF, Caracas, Octubre, 2014.
- Córdova, K (2018) *Geotecnología espacial aplicada al estudio de islas térmicas urbanas. Estudio de la dinámica socio-ambiental de las islas de calor urbano en la ciudad de Caracas*. Tesis Doctoral defendida en Diciembre de 2012, publicada por la Editorial Académica Española, ISBN978-3-639-60158-9, OmniScriptum Publishing Group, Beau Bassin , 2018.
- Foghin, S. (2002). *Tiempo y clima en Venezuela: Aproximación a una geografía climática del territorio venezolano*. Colección Clase Magistral N°1. Caracas; UPEL-IPC.
- Gabaldón, A. (2015). "Agua y desarrollo". En: *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa*. Tomo I, Caracas: Fundación Empresas Polar, 58-77 pp.
- Guevara, J. (2007). *Meteorología*. Segunda edición. Caracas: Facultad de Humanidades y Educación UCV, 377 p.
- Guevara, J. (2013). "Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos". Segunda edición. Caracas: Facultad de Humanidades y Educación UCV, 128 p.
- INAMEH (2016). Datos mensuales de precipitación. Caracas.
- INE (2011). Censo de población 2011. Tabla Redatam.
- IMUTC (2010). Cálculos propios. Gerencia para la gestión del ambiente. Caracas.
- Makarieva, Anastassia M. * and Gorshkov, Victor G. (2010) The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. *International Journal of Water* 5(4):365-385 · January 2010, DOI: 10.1504/IJW.2010.038729
- Martelo, M. (2015). "El cambio climático global y sus posibles efectos sobre Venezuela". En: *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa*. Tomo I. Caracas: Fundación Empresas Polar, 360-393 pp.
- Mejía, A. (2015). "Agua y desarrollo humano". En: *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa*. Tomo I. Caracas: Fundación Empresas Polar, 394-423 pp.
- Observatorio Venezolano de Conflictividad Social (2018). *Conflictividad social en Venezuela durante octubre de 2018*. [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.observatoriodeconflictos.org.ve/tendencias-de-la-conflictividad/protestas-venezuela>. (Consultado el: 17/02/2019).
- Ramírez, P. & González, P. (2005). *Diccionario de desarrollo sustentable*. Caracas: El Universal, 451 p.
- Seoánez, M. (2002). *Tratado de contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y solución*. Madrid: Mundi-Prensa, 1111 p.
- Serafín, Y. (2014). "Influencia de los eventos Niño/Niña en las precipitaciones de la Ecorregión Metropolitana de Caracas". *Revista RELEG*. N° 4: 50-68 pp.
- Siem, G. & Lugo A. (2013). "Envolventes verdes: creando armonía ambiental y social". *XXXI Jornadas de Investigación del IDEC*. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. Caracas: Facultad de Arquitectura y Urbanismo UCV.
- Strahler, A. (1987). "Geología física". Ediciones Omega, Barcelona, España. 648 p.
- UNESCO (2006). "II informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo". *El agua: una responsabilidad compartida*. París.

Anexos

ANEXO 1
Cuadro de estaciones y precipitación anual 2013-2016.

Estaciones	Longitud	Latitud	Promedio anual (2013-2016)	2013	2014	2015	Promedio anual (2014-2015)	2016
Cagigal	-66.920833	10.509722	662.3310278	602.3	466.7	593.024111	529.8620566	987.3
Caracas-Ciudad Universitaria	-66.8867805	10.49415	897.1507935		769	493.25238	631.1261902	1429.2
Macarao La Culebra	-67.052778	10.4275	692.250775	602.4	549.2	599.1263	574.16315	1018.2768
Humboldt	-66.88	10.54	819.52915	852.4	526.2	714.0956	620.1478	1185.421
Caracas UNEXPO	-66.930726	10.492237	651.8473333		509.8	479.542	494.671	966.2
Caracas Pedro Emilio Coll	-66.923161	10.450944	712.2071667		616.2299	737.7916	677.01075	782.6
Caracas La Carlota-OMM	-66.850624	10.48821	868.76607	427.77878	316.7052	571.5803	444.14275	2159
Sabanetón	-67.144317	10.3591	1059.931827	1109.12377	826.2	906.188133	866.1940663	1398.21541
INAMEH Pluvio	-66.88957	10.40399	663.2114326	876	567.987097	616.576724	592.2819101	1022.03888
Guatire	-66.53045	10.48212						836.6

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar la lluvia de un mes se plantea que:

$$\Sigma pp \text{ en meses con datos} = 100 - (\Sigma \% \text{ lluvia en meses sin datos})$$

$$X, pp \text{ del mes} = \% \text{ de la lluvia del mes.}$$

$$X = \left[\frac{\text{suma de la lluvia en meses con datos} \times \% \text{ de lluvia del mes}}{100 - \text{suma de los porcentajes en los meses sin datos}} \right]$$

ANEXO 2
Método racional de estimación de precipitación.

Fuente: Guevara, 2013.