

Valoración de la escorrentía de las colinas de la ciudad de Portoviejo

Campos Cedeño Antonio Fermín¹, Salas Guillén Pedro Alexander¹, Mendoza Álava Junior Orlando²

¹Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo.

²Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos, St. Miklukho-Maklaya, D 6, Moscú
acampos@utm.edu.ec, psalas8795@utm.edu.ec, jrmendoza_46@hotmail.com

Abstract— *Portoviejo, capital of the province of Manabí, founded on March 12, 1535, is one of the oldest cities on the Ecuadorian coast. It is characterized by a stable temperate climate with an annual average temperature of around 24°C. The average rainfall for the years 2000 to 2009 is 596.20 mm per year, the wettest years are 2000 with 733 mm and 2008 with 823 mm; while the driest are 2001, 2003, and 2009 with rainfall below 500 mm. Maximum precipitation values in 1997 and 1998 for the El Niño phenomenon. The city is located in a valley, whose average elevation has been estimated at 40.00 meters above sea level, and in the northeast and southwest areas it is limited by hills whose maximum levels oscillate between 250 ~ 300 meters above sea level.*

The parishes of Progreso, Pacheco, San Pablo and Briones are located in the lower part of the hills of the northeast sector. During the rainy season they experience landslide problems, with consequent flooding due to surface runoff and water erosion. zone.

For the control of runoff there is a sewer system, which is insufficient, since the lower area is flooded, causing year-to-year urban problems of vehicular and human traffic, in addition to material losses.

With the purpose of contributing with design elements that allow to diagnose the current situation of the runoff and its control works, in the present work, based on the methodology proposed by the Soil Conservation Service of the United States (Soil Conservation Service - SCS), complemented with the techniques of Geographic Information Systems (GIS), runoff was estimated by sector for return periods 2, 3, 5, 10, 20, 50 and 100 years.

Index Terms — Hydrology, rainfall, return periods, climate change, runoff control

I. INTRODUCCIÓN

Portoviejo, capital de la provincia de Manabí, fundada el 12 de marzo de 1535, es una de las ciudades más antiguas de la costa ecuatoriana. Se caracteriza por poseer un clima templado estable con temperatura media anual por el orden de los 24°C. Las precipitaciones promedio de los años, 2000 al 2009 son de 596,20 mm por año, los años más lluviosos son el 2000 con 733 mm y 2008 con 823 mm; en tanto que los más secos son el 2001, 2003, y el 2009 con precipitaciones por debajo de los 500 mm. Valores de precipitación máximos en 1997 y 1998 para el fenómeno de El Niño [7].

La ciudad se encuentra ubicada en un valle, cuya cota promedio se la ha estimado en 40.00 msnm, y en la zona noreste y suroeste se encuentra limitada por colinas cuyas cotas máximas oscilan entre 250~300 msnm.

En la parte baja de las colinas del sector noreste se encuentran asentadas las parroquias Progreso, Pacheco, San Pablo y Briones, mismas que en la estación lluviosa experimentan problemas de deslizamientos, con las consecuentes inundaciones debido a la escorrentía superficial y a la erosión hídrica de la zona.

Para el control de la escorrentía existe un alcantarillado pluvial, el cual resulta insuficiente, puesto que la zona baja se inunda provocando año a año problemas urbanos del tráfico vehicular y humano, además de las pérdidas materiales.

Con la finalidad de aportar con elementos de diseño, que permitan diagnosticar la situación actual de la escorrentía y sus obras de control, en el presente trabajo, sobre la base de la metodología propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos [4] (Soil Conservation Service — S.C.S.), complementado con las técnicas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ha estimado la escorrentía por sectores para períodos de retorno 1, 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Insuno base para el presente trabajo constituyen los registros de precipitaciones máximas en 24 horas proporcionadas por Instituto Ecuatoriano de Hidrología y Meteorología del Ecuador (INAMHI), estación meteorológica M005 ubicada en el Jardín Botánico de la Universidad Técnica de Manabí, latitud 01°02'26" S, longitud 80°27'54" W, período 1982-2013. En la Fig. 1 se muestra la ubicación geográfica de la estación M005 dentro del territorio de la Demarcación Hidrográfica de Manabí (DHM)[2]

El total de registros de precipitaciones máximas en 24 horas empleados en la investigación ascienden a 384. En la Tabla I se presentan los registros respectivos, período 1982-2013 [5, 6].

Para la determinación de la morfometría de las microcuencas se empleó modelos digitales de elevación con una resolución de 3 metros facilitados por el GAD de Portoviejo. De igual forma, la mencionada institución proporcionó información básica referente a la cobertura vegetal y obras de infraestructura para el manejo de la escorrentía superficial de la zona.

Se han considerado 6 zonas de análisis (Fig. 2), siendo cada una de ellas, la microcuenca o microcuencas en la que se encuentra asentada cada parroquia: Progreso, Pacheco, San Pablo y Briones. Los parámetros fisiográficos de las microcuencas se determinaron con la ayuda de software

especializado para el manejo de información geográfica. El total del área de estudio ha sido estimado en 327.03 ha.

Mediante el método S.C.S., la escorrentía se determina con la fórmula[1]

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

Donde Q — Capa de escorrentía superficial, mm; P — Precipitación de lluvia, mm; S — Diferencia potencial máxima entre P y Q , mm.

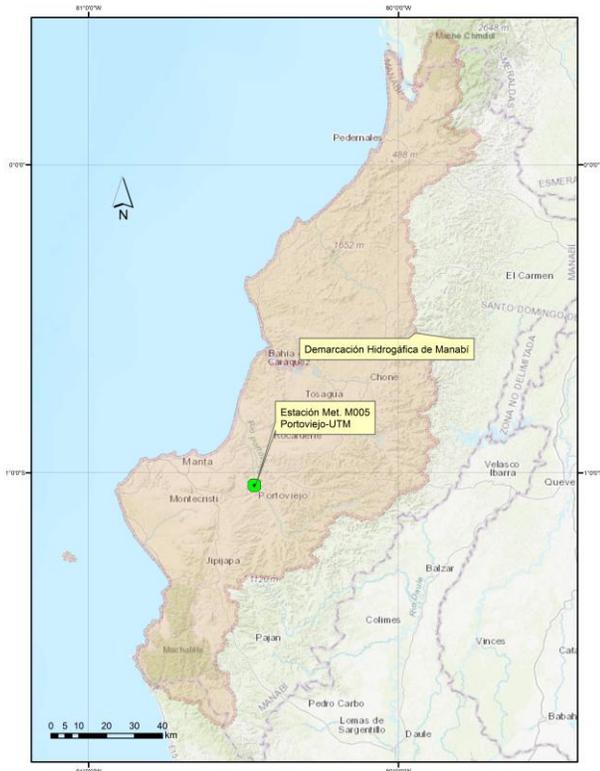


Fig. 1. Ubicación de la estación meteorológica M005 – Portoviejo - UTM

El parámetro S , la diferencia potencial máxima entre P y Q , se lo puede determinar a través del llamado **número de curva** CN , mismo que caracteriza los tipos de suelo y cobertura vegetal de la zona. La fórmula de cálculo en unidades métricas es la siguiente [3]:

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (2)$$

TABLA I
REGISTRO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS MM, ESTACIÓN PORTOVIEJO – UTM (M005)
PERÍODO 1982 — 2013

AÑO	P max 24 [mm]						
1982	48.90	1990	37.80	1998	86.70	2006	56.70
1983	120.50	1991	20.90	1999	69.40	2007	46.80
1984	47.30	1992	69.70	2000	41.30	2008	53.30
1985	40.00	1993	25.30	2001	147.90	2009	26.50
1986	54.70	1994	66.50	2002	50.80	2010	52.30
1987	65.60	1995	60.10	2003	38.40	2011	37.00
1988	18.30	1996	40.80	2004	57.90	2012	59.30
1989	131.40	1997	131.10	2005	79.70	2013	107.60

Fuente: Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología del Ecuador (INAMHI)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

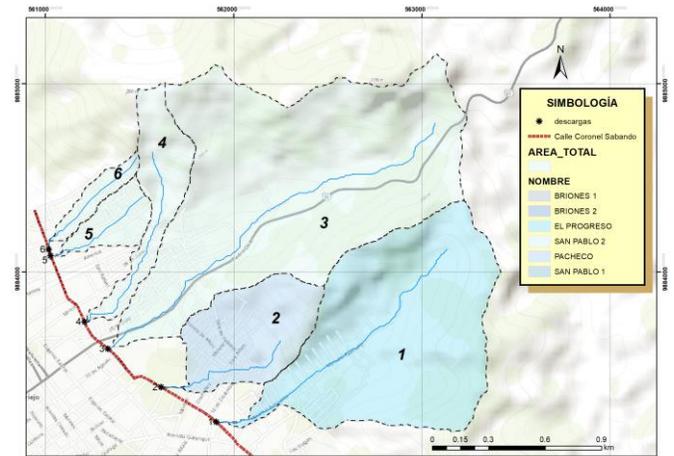


Fig. 2. Zonas de estudio

Para la valoración de los números de curva de las microcuencas se empleó el mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013-2014, escala 1:100000, desarrollado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) con el Ministerio del Ambiente (MAE).[8]

Se ha estimado la escorrentía superficial en los puntos de descarga donde terminan las fuertes pendientes de las colinas, esto es a nivel de las calles Coronel Sabando y Avenida Seminario. En la Tabla III se indican las coordenadas de los puntos de descarga proyectadas en el sistema UTM WGS84, ZONA 17 S, M.

Sobre la base de los shaps de la red del alcantarillado pluvial, facilitados por el GAD-Portoviejo y con el modelo digital de elevación de la zona, fueron estimadas las pendientes de los colectores principales de aguas lluvias, mismas que sirvieron para determinar la capacidad máxima de conducción de los mismos. Luego, los valores obtenidos fueron confrontados con la escorrentía de las microcuencas de las zonas de estudio con la finalidad de validar la red de drenaje urbana existente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados ponderados de los números de curva para cada una de las microcuencas se encuentran contenidos en la Tabla II.

TABLA II
DATOS DE LAS MICROCUENCAS DE ESTUDIO
CON VALORES PONDERADOS DE LOS NÚMEROS DE CURVA CN

MICRO-CUENCA	NOMBRE	ÁREA CUENCA (ha)	CN PONDERADO
1	Progreso	100.74	74
2	Pacheco	32.63	81
3	San Pablo	155.15	74
4	San Pablo 2	22.00	81
5	Briones 1	10.35	81
6	Briones 2	6.16	81

Los caudales pico de la escorrentía superficial, para variados períodos de retorno, fueron estimados para puntos de descarga, cuyas coordenadas se encuentran contenidas en la Tabla III, Fig. 3.

TABLA III
SITIOS DE DESCARGA DE ESCORRENTÍA

DES-CARGA	PARRO-QUIA	COORDENADAS UTM WGS84		
		X (m)	Y (m)	Z (msnm)
1	Progreso	561907.62	9883202.53	45.75
2	Pacheco	561614.76	9883388.06	45.04
3	San Pablo 1	561332.10	9883592.02	40.81
4	San pablo 2	561207.42	9883736.05	43.19
5	Briones 1	561027.46	9884086.86	43.53
6	Briones 2	561017.29	9884119.28	43.59

En la Tabla IV se indican los caudales pico para períodos de retorno de 1, 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, expresados en m³/s.

En la Tabla V se confronta la capacidad máxima de conducción de los colectores de aguas lluvias con los caudales de escorrentía determinados en este estudio, misma que debería ser receptada por los colectores ubicados en las calles Coronel Sabando y Av. Seminario.

TABLA IV
ESCORRENTÍA PICO ESTIMADA A NIVEL DE LAS CALLES CORONEL SABANDO Y AV. SEMINARIO
EXPRESADA EN M3/S

MICRO-CUENCA	NOMBRE	PERÍODO DE RETORNO						
		1 año	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
1	Progreso	0.0540	0.3205	0.8076	1.3456	1.9388	2.7195	3.4499
2	Pacheco	0.0176	0.1799	0.4761	0.7148	0.9579	1.2657	1.5451
3	San Pablo 1	0.0828	0.4919	1.2393	2.0651	2.9753	4.1734	5.2944
4	San Pablo 2	0.0118	0.1200	0.3174	0.4765	0.6386	0.8438	1.0301
5	Briones 1	0.0059	0.0300	0.0600	0.2383	0.3193	0.4219	0.5150
6	Briones 2	0.0033	0.0338	0.0894	0.1343	0.1800	0.2378	0.2903

TABLA V
CONFRONTACIÓN DE CAPACIDAD DE COLECTORES DE AGUAS LLUVIAS CON LA ESCORRENTÍA DE LAS COLINAS
PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO

ZONA	COLECTOR		ESCORRENTÍA [l/s]						
	Diámetro [mm]	Caudal [l/s]	Períodos de retorno						
			1 año	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
Progreso	800	2800	54	321	808	1346	1939	2720	3450
Pacheco	400	140	18	180	476	715	958	1266	1545
San Pablo 1	500	700	83	492	1239	2065	2975	4173	5294
San Pablo 2	200	40	12	120	317	477	639	844	1030
Briones 1	200	20	6	30	60	238	319	422	515
Briones 2	250	80	3	34	89	134	180	238	290

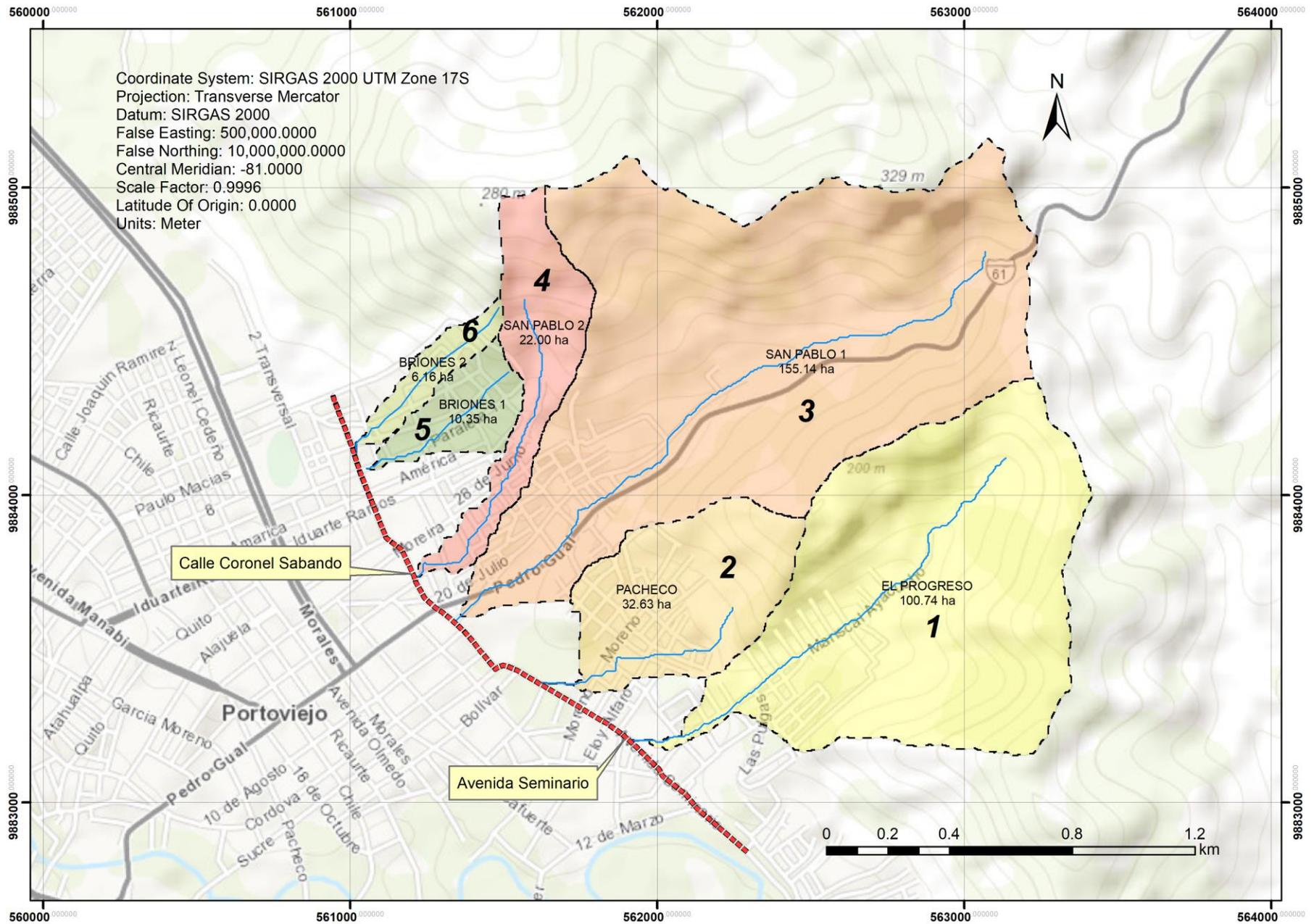


Fig. 3 — Microcuencas de las zonas de estudio

IV. CONCLUSIONES

A. El total del área de las microcuencas en las que se encuentran asentadas las parroquias Progreso, Pacheco, San Pablo y Briones asciende a la cantidad de 327.03 ha, correspondiendo para ellas, respectivamente, .100.74, 32.63, 177.15, 16.51 ha.

B. Para períodos de retorno de 1, 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, la cuenca de mayor escorrentía es aquella donde se encuentra asentada la parroquia San Pablo (microcuencas 3 y 4), valores que oscilan entre 0.05 a 3.45 m³/s.

C. Los valores de menor escorrentía se obtuvieron para las cuencas de la Ciudadela Briones (microcuencas 5 y 6), los cuales se encuentran entre 0.009 a 0.805 m³/s.

D. Valores menores de escorrentía superficial arrojaron las microcuencas donde se encuentran asentadas las parroquias Progreso y Pacheco. Para la Progreso éstos se ubican entre 0.05 a 3.45 m³/s, y 0.018 a 1.55 m³/s, para la parroquia Pacheco.

E. Los valores estimados constituyen un insumo para las instituciones encargadas del manejo de la escorrentía de las colinas, con la finalidad de controlar los deslaves, deslizamiento y las inundaciones de la zona.

F. Se determinó que los colectores que reciben la escorrentía de las microcuencas tienen secciones que permiten conducir caudales para períodos de retorno inferiores a los 5 años, con excepción del colector de la ciudadela el Progreso de 800 mm de diámetro, el cual tiene una capacidad máxima de conducción de 2800 l/s, cercano al caudal de 50 años de periodo de retorno. Esta situación se explica que, con mucha frecuencia, en la estación lluviosa, las partes bajas de las zonas de estudio experimentan problemas relacionados con serias inundaciones.

G. En términos de la normativa vigente, contenida en el Código Ecuatoriano de la Construcción, Parte IX, Obras Sanitarias (Apartado 5.1.5. Caudales de diseño de aguas lluvias) [9], para los micro drenajes de cuencas, los caudales de diseño de los colectores de aguas lluvias deben corresponder a períodos de retorno de 10 años, lo cual no se cumple para las condiciones existentes.

H. En función del análisis realizado, las instancias correspondientes de desarrollo urbano, deben considerar esta situación para profundizar en estos estudios con miras de repotenciar las obras existentes y/o proponer proyectos complementarios que tiendan a mitigar los impactos ambientales causados por la insuficiencia de la capacidad de conducción del alcantarillado pluvial existente.

V. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Campos, A. F., Sinichenko, E. K. *Características de Sistemas Fluviales Pequeños y Recursos Hídricos de la Demarcación Hidrográfica de Manabí, Perspectivas de Desarrollo* /. — Moscú: Universidad de la Amistad de los Pueblos de Rusia, 2017. — 42-45 pp.
- [2] Sinichenko, E. K. Cambios zonales de las principales características generales del régimen hídrico de los ríos pequeños ETP/ // VESTNIK RUDN. — 2004. — P. 10.
- [3] Campos, A. F., Sinichenko, E. K., Gritsuk, I. I. *Hidráulica e Hidrología para Ingeniería* /. — Moscú: Universidad de la Amistad de los Pueblos de Rusia, 2016. — 167-174 pp.

- [4] Department of Agriculture United States. USDA Natural Resources Conservation Service Soils [Electronic Resource] / Department of Agriculture United States. — 2015. — Access mode: <http://www.nrcs.usda.gov/>.
- [5] Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. Anuarios Meteorológicos [Electronic Resource] / Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. — 2015. — Access mode: <http://186.42.174.231/index.php/clima/anuarios-meteorologicos>.
- [6] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. Hidrología y meteorología [Electronic Resource] / Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. — 2015. — Access mode: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>.
- [7] Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portoviejo. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Portoviejo* /. — : GAD PORTOVIEJO, 2011. — 7-12 pp.
- [8] Ministerio de Agricultura, G., Acuicultura y Pesca., Ministerio del Ambiente. Mapa de coberturas y uso de tierras [Electronic Resource] / Ministerio de Agricultura, G., Acuicultura y Pesca., Ministerio del Ambiente. — 2018. — Access mode: <http://sni.gob.ec/mapa-cobertura-uso>.
- [9] Secretaría del Agua *Código Ecuatoriano de la Construcción de Obras Sanitaria* /. — Quito: SENAGUA, 2012. — 277-278 pp.



Campos Cedeño A.F. Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Master of Sciences in Ingeniería, Magister en Administración Ambiental, Ingeniero Civil, Naturópata, Docente Principal de la Universidad Técnica de Manabí desde 1996. Ha impartido e imparte disciplinas relacionadas con la Mecánica de Fluidos, Hidráulica e Hidrología de Ingeniería. Autor de varios libros y artículos científicos para revistas indexadas de la Federación Rusa, del Ecuador y del mundo.



Salas Guillén P.A. Profesionista Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Carrera Ingeniería Civil. Realiza su trabajo de titulación en la modalidad de Prácticas en Docencia en la asignatura Obras Hidráulicas II. Se dedica a la investigación en temas relacionados con el aprovechamiento y control de los recursos hídricos y medio ambiente.



Mendoza Álava J.O. Ingeniero Civil. Actualmente se encuentra realizando su estudio de postgrado en la Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos y se dedica a la investigación en temas relacionados con el control y aprovechamiento de los recursos hídricos bajo el contexto de los sistemas de información geográfica.