

Zanjas de infiltración: opción para mitigar la erosión hídrica en la playa Rancho Luna

MSc. Ing. Omar Gutiérrez Benítez email: omar@gestion.ceac.cu
Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Cienfuegos.

MSc. Ing. David Javier Castro Rodríguez email: david@gestion.ceac.cu
Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Cienfuegos.

MSc. Lic. Sinaí Barcia Sardiñas email: sinai@cfd.insmet.cu
Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos (CMP), Cienfuegos.

RESUMEN

La erosión hídrica de la playa Rancho Luna requiere soluciones de ingeniería sustentadas en el principio de minimizar las escorrentías de las aguas pluviales hacia la playa. El objetivo fue diseñar una zanja de infiltración como opción para mitigar dicha erosión. El diseño cumple con los requerimientos establecidos para este tipo de obra. Se corroboró que sus dimensiones permiten almacenar, infiltrar y evacuar el agua para la lluvia de diseño para el grado de protección requerido. Los resultados fueron tenidos en cuenta por las autoridades ambientales y la entidad explotadora de la playa para la toma de decisiones en el marco del proceso de ordenamiento que se realiza en la zona costera. Asimismo, en la proyección de las soluciones en correspondencia con el proceso inversionista que debe acometerse.

Palabras clave: dimensionamiento, diseño, erosión hídrica, playa, zanja de infiltración.

Infiltration trenches: option to mitigate water erosion at Rancho Luna beach

ABSTRACT

The water erosion of Rancho Luna beach requires engineering solutions based on the principle of minimizing runoff from rainwater to the beach. The aim was to design an infiltration trench as an option to mitigate the erosion. The design complies the requirements established for infiltration trenches. It was corroborated that its dimensions allow storing, infiltrating and evacuating the water of the design rain to the degree of protection required. The results were taken into account by the environmental authorities and the operator of the beach for making decisions in the framework of the ordering process that is realized in the coastal zone. As well as in the projection of solutions in correspondence with the investment process that must be undertaken.

Keywords: sizing, design, water erosion, beach, infiltration trench.

INTRODUCCIÓN

El 89 % de las playas en Cuba presentan indicios de erosión, demostrándose que es un fenómeno generalizado e irreversible (CITMA 2010), (García et al. 2017). Gutiérrez et al. (2017) han demostrado la incidencia significativa de la erosión hídrica en la playa Rancho Luna.

Para el control de la erosión de las playas en Cuba se ha trabajado en tres direcciones: científica, legal y de ingeniería (García et al. 2017). El Plan de Estado Cubano para el Enfrentamiento al Cambio Climático (Tarea Vida) establece identificar y acometer acciones y proyectos de carácter integral y progresivo para la protección costera de recuperación integral de playas, obras hidráulicas y de ingeniería costera (CITMA 2017).

Sin embargo, un aspecto poco estudiado ha sido la incidencia de la erosión hídrica y qué hacer para su mitigación. MINVU (1996) reconoce que las acciones para ello requieren de coherencia y continuidad debido a la intervención de múltiples agentes y a la interacción que presentan. Se establece que se deben considerar dos aspectos básicos: la definición de un sistema de drenaje general que considere los cauces naturales, así como la materialización de un sistema de drenaje artificial, o de colectores de aguas de lluvia que complemente la red natural, entre ellos las obras alternativas, basadas en la recolección y disposición local de los excesos de escorrentía.

La principal regla en el drenaje pluvial sostenible es reducir la escorrentía superficial minimizando las superficies impermeables y dividiendo las cuencas vertientes para evitar la concentración de grandes volúmenes de agua en un punto. Es necesario tener una idea clara de la configuración de la red de drenaje natural, para ubicar en ella soluciones alternativas a la evacuación directa, manteniendo las condiciones naturales.

Para ello es necesario conocer la configuración morfológica de esta red, es decir sus pendientes, secciones, vegetación y topología. Además se requiere tener información sobre los caudales que pueden pasar en secciones determinadas y el destino de estos drenajes o la descarga, y la existencia de colectores y sumideros.

Las soluciones alternativas se clasifican de acuerdo con la forma en que actúan sobre el escurrimiento, ya sea mediante almacenamiento temporal, infiltración o una combinación de ellas (MINVU 1996). Entre las obras de infiltración se incluyen las zanjas de infiltración.

Pizarro et al. (2013) consideraron cuatro conceptos hidrológicos fundamentales para lograr diseños confiables y efectivos de zanjas de infiltración: el periodo de retorno, las curvas intensidad-duración-frecuencia, la velocidad de infiltración de los suelos y el coeficiente de escorrentía. Lo anterior permite diseñar obras que favorezcan la infiltración de las lluvias en condiciones desfavorables y minimizar riesgos.

El objetivo fue diseñar una zanja de infiltración como opción para mitigar la erosión hídrica en la playa Rancho Luna.

ZANJAS DE INFILTRACIÓN: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y DISEÑO

Los sistemas de infiltración de las lluvias en el subsuelo, para su posterior percolación en el agua subterránea, requieren que los sectores seleccionados cumplan con ciertas condiciones que aseguren un buen funcionamiento de las obras. Se requiere que el subsuelo esté compuesto por material permeable (arenas, gravas, roca fracturada) con una zona vadosa sin capas o estratos impermeables que puedan limitar la infiltración.

También que tengan la suficiente permeabilidad horizontal que permita el flujo lateral sin formar una excesiva sobrecarga. Adicionalmente, la superficie freática o napa debe estar lo suficientemente profunda de manera de no interferir con el proceso de infiltración (MINVU 1996). La infiltración conduce a una disminución de los gastos máximos y de los volúmenes a evacuar. La respuesta de las obras de infiltración puede variar enormemente dependiendo del grado de saturación de los suelos involucrados. La capacidad del suelo para absorber la lluvia depende, entre otros factores, de la cubierta vegetal, el tipo y condiciones del suelo, las características del acuífero en el lugar y la calidad de las aguas de lluvia. Entre las obras de infiltración se incluyen las zanjas de infiltración.

Las zanjas de infiltración permiten una infiltración concentrada del escurrimiento local. Las zanjas de infiltración son obras longitudinales, en forma de trincheras rellenas de material granular, con una profundidad recomendada del orden de 1 a 3 m, que reciben el agua en toda su longitud, interceptando el flujo superficial de la lluvia y evacuándolo mediante infiltración al subsuelo. El funcionamiento hidráulico de estas obras puede resumirse en tres etapas: el ingreso del agua proveniente de la escorrentía a la zanja, el almacenamiento temporal del agua en su interior, y la infiltración través del suelo (Flores 2015), (Pizarro et al. 2013).

Las zanjas de infiltración son obras sencillas y fáciles de mantener, se integran bien a la red de drenaje natural ya que son poco visibles y comprometen sólo una franja delgada del suelo en la superficie. Adicionalmente, tienen un bajo costo y una fácil puesta en marcha. Ofrecen buenas prestaciones: disminuyen el caudal máximo, disminuyen el volumen escurrido, recargan el manto de agua subterránea y mejoran la calidad del efluente. Entre las desventajas se destacan los problemas de colmatación.

Los diseños de zanjas de infiltración incluyen dos tipos básicos:

Zanja de infiltración completa: el escurrimiento superficial sólo puede salir de la zanja por infiltración. El volumen de almacenamiento se diseña en este caso para almacenar todo el volumen de escurrimiento superficial. En caso de lluvias mayores a las de diseño el exceso no entra a la zanja y es rechazado superficialmente.

Zanja de infiltración parcial o con tubería de drenaje: la zanja no está diseñada para infiltrar completamente todo el volumen de escurrimiento superficial captado. Parte del volumen se evacua hacia otros elementos o hacia el sistema de drenaje, usando una tubería perforada ubicada cerca de la parte superior de la zanja conectada a un sistema de conducción hacia aguas abajo, para evacuar el exceso de agua.

Diseño hidrológico de zanjas de infiltración

El dimensionamiento de una zanja de infiltración consiste en determinar el tamaño de la zanja (largo, ancho y profundidad) y sus elementos principales, entre ellos la tubería de drenaje, para el caso de zanjas de infiltración parcial. Se reconoce que la longitud de la zanja está generalmente impuesta por el trazado, el ancho es variable y puede ser elegido libremente, y la profundidad depende de la naturaleza del terreno: capacidad de absorción del suelo y de la profundidad del manto de agua subterránea (MINVU 1996).

Flores (2015), Pizarro et al. (2013) y MINVU (1996) establecen procedimientos convergentes para el diseño de este tipo de obras, considerando una descripción genérica de cada una de ellas, las ventajas e inconvenientes que plantea su uso, los procedimientos de diseño, los aspectos a considerar para realizar un análisis de factibilidad, el dimensionamiento de la obra desde el punto de vista de su funcionamiento hidráulico, los detalles necesarios para completarla, así como aspectos constructivos y de mantenimiento que debieran tenerse en cuenta al momento de realizar el proyecto.

El principio fundamental para diseñar una zanja de infiltración es que la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona de aportación debe ser menor que la que capte y absorba la zanja, o sea que la capacidad de esta no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converja. El diseño hidrológico de zanjas de infiltración debe tener en cuenta las condiciones locales para este tipo de soluciones: el clima, las precipitaciones, los suelos y otros requerimientos para el dimensionamiento. Las variables de diseño fundamentales son la intensidad de las precipitaciones y la capacidad de infiltración del suelo (Pizarro et al. 2013).

El procedimiento recomendado para el dimensionamiento por MINVU (1996) tiene los siguientes pasos:

1. Determinación del área aportante: el área aportante se estima como la suma de las superficies impermeables que drenan hacia la zanja de infiltración. Para ello se determina un coeficiente de escurrimiento del conjunto como la media ponderada de los coeficientes respectivos por el área de cada uno.
2. Selección de una lluvia de diseño: se recomienda seleccionar la lluvia de diseño para un período de retorno de 10 años (10 % de probabilidad de lluvia). Es recomendable trabajar con las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).
3. Determinación de la tasa de infiltración del terreno: debe hacerse una estimación preliminar de la tasa de infiltración del terreno en el cual se implantará la zanja, a base de una clasificación del suelo o según ensayos en terreno.
4. Determinación del volumen afluente acumulado de agua lluvia (V_{afl}): se recomienda determinar el volumen a infiltrar acumulado para una lluvia obtenida con el período de retorno de diseño como aquel generado por las intensidades medias, de acuerdo con la curva IDF correspondiente. El volumen acumulado de agua de lluvia (en metros cúbicos) para un tiempo t (horas), se calcula de acuerdo con la ecuación (1):

$$V_{afl}(t) = 1,25 \times 0,001 \times C \times A \times I_t \times t \quad (1)$$

Donde: C es el coeficiente de escorrentía superficial del área total aportante A (metros cuadrados), I_t es la intensidad de la lluvia (mm/hora) del período de retorno de diseño y duración t , y t es el tiempo acumulado en horas. El valor de V_{afl} en función de t se denomina *curva de recarga*. Se recomienda multiplicar este volumen acumulado por un factor de seguridad de 1,25 para considerar la lluvia que cae antes y después de la porción más intensa de la tormenta, no incluida en las curvas IDF.

5. Determinación del volumen infiltrado (V_{inf}): el volumen infiltrado se calcula en función de la capacidad de infiltración del suelo, del área total de percolación de la zanja y del tiempo de percolación, igual al tiempo de duración t de la tormenta de diseño. El volumen infiltrado se puede determinar a partir de la ecuación (2):

$$V_{inf}(t) = 0,001 \times C_s \times f \times A_{perc} \times t \quad (2)$$

Donde: C_s es el factor de seguridad, f es la capacidad de infiltración del suelo en condiciones de saturación (mm/hora), A_{perc} es el área total de percolación de la zanja en metros cuadrados y t es el tiempo de percolación en horas.

El área de percolación (A_{perc}) se puede determinar a partir de la ecuación (3):

$$A_{perc} = 2 \times h \times (L + b) \quad (3)$$

Donde: h la altura de la zanja rellena con piedras, L es la longitud de la zanja, b es su ancho.

6. Determinación del volumen de almacenamiento (V_{alm}): Se calcula como la máxima diferencia positiva entre el volumen afluyente acumulado de agua lluvia (V_{afl}) y el volumen acumulado infiltrado (V_{inf}), ambos para una duración t de la tormenta de diseño, de acuerdo con la curva IDF.

El volumen total de la zanja está dado por la ecuación (4):

$$V_{zanja} = L \times b \times h \quad (4)$$

Para mejorar la estabilidad, se rellena de material pétreo de porosidad p , luego el volumen de la zanja está relacionado con el volumen de almacenamiento necesario mediante la ecuación (5):

$$V_{alm} = p \times V_{zanja} \quad (5)$$

Debido a que el volumen infiltrado (V_{inf}) empleado para estimar el volumen de almacenamiento (V_{alm}) también depende de la dimensión de la zanja, se debe proceder por aproximaciones sucesivas, empleando como variables de diseño el valor del largo de la zanja L ,

suponiendo valores conocidos de b y h ya que pueden estar condicionados por restricciones constructivas y del terreno.

7. Tiempo total de infiltración. Se debe estimar el tiempo total de infiltración para la lluvia de diseño como el tiempo para el cual el volumen acumulado aportado por la lluvia (V_{afl}) es igual al volumen acumulado infiltrado (V_{inf}). Es recomendable que el tiempo total de infiltración sea inferior a 24 horas para la lluvia de diseño.
8. Pendiente de fondo. El fondo de la zanja debe ser horizontal. Si el terreno presenta una pendiente a lo largo de la zanja, la altura de ésta es la del extremo de menor profundidad. En estos casos es conveniente dividir la zanja a lo largo en tramos de longitud máxima dada por la ecuación (6):

$$L_{\max} = \frac{H}{2 \times S} \quad (6)$$

Donde: H es la profundidad de la zanja y S la pendiente del terreno en tanto por uno.

9. Material de relleno de la zanja: Para mejorar las condiciones de estabilidad de las paredes de la zanja, es necesario rellenarla con un material pétreo. El material agregado para la zanja consiste en un agregado limpio, tipo ripio, sin polvo ni material fino, con un diámetro uniforme variable entre 3,5 cm y 7,5 cm. Por los supuestos de diseño, la porosidad del agregado se puede suponer que es igual a un 30 %. El agregado debería estar completamente rodeado por un filtro geotextil.
10. Geotextil: entre el fondo y las paredes de la excavación y el relleno se coloca un geotextil, cubriendo el relleno una vez colocado en su parte superior. Se recomienda emplear geotextiles de materiales sintéticos, no tejidos, de permeabilidad al menos igual a 10 veces la permeabilidad del suelo. Los paños laterales se deben traslapar por lo menos en 40 cm.
11. Tuberías de reparto de flujo. Esta tubería debe ser recta, horizontal y estar conectada tanto a una cámara de entrada como a una de salida en cada extremo, para facilitar su limpieza. El gasto de diseño de esta tubería puede estimarse mediante la ecuación (7) como el aportado por una tormenta corta, de duración 5 a 10 minutos sobre el área aportante, de manera de tomar en cuenta la parte más intensa de la lluvia, que es la que genera los mayores caudales a ser distribuidos en la zanja.

$$Q = C \times A \times I_{10 \min} \quad (7)$$

Donde: C es el coeficiente de escorrentía superficial del área total aportante A (metros cuadrados), $I_{10 \min}$ es la intensidad de la lluvia (mm/hora) de período de retorno de diseño y duración de diez minutos de duración en el sector. Estos valores son independientes del tiempo de concentración de la cuenca aportante y tienen por objeto considerar la parte más intensa de la lluvia de diseño.

El tamaño, o diámetro de la tubería, se puede calcular considerando que todo el gasto que entra se reparte a lo largo de la zanja de longitud L , con una pérdida de carga no superior a un diámetro y un factor de fricción de 0,02. En estas condiciones el diámetro se determina por la ecuación (8):

$$D = 0.286 \times L^{1/6} \times Q^{1/3} \quad (8)$$

Con L y D en metros y Q en m^3/s . Para la tubería se pueden emplear tubos de hormigón de cemento del tipo alcantarillado colocados sin emboquillar, tubos de PVC perforados, o tubos de drenaje envueltos en geotextil. En cualquier caso la tubería debe ser de diámetro uniforme y recta, con una longitud máxima entre cámaras no mayor que 50 metros y de un diámetro mínimo de 0,20 m.

CASO DE ESTUDIO: PLAYA RANCHO LUNA

Situación problemática

La playa Rancho Luna, ubicada en la costa centro-sur de Cuba, al sur de la ciudad de Cienfuegos, tiene un largo de franja costera de aproximadamente 1 000 m y una orientación de su línea de costa de noroeste a sureste. Los estudios del Macroproyecto de Peligro y Vulnerabilidades Costeras 2050-2100 (CITMA 2010) clasifican a la playa Rancho Luna como una playa con tendencia a erosión moderada (figura 1).



Figura 1. Clasificación erosiva de la playa Rancho Luna (Fuente: CITMA 2010)

Gutiérrez et al. (2017) han demostrado que la playa Rancho Luna está severamente afectada por la erosión hídrica, predominando la erosión por arroyamiento del tipo cárcavas. En la figura 2 se muestra la localización de las 12 evidencias erosivas identificadas (E_i , donde $i=1, 2, \dots, 12$) en el sector de principal de playa, con una longitud de franja costera aproximada de 640 m.



Figura 2. Localización de evidencias de erosión hídrica en la playa Rancho Luna
(Fuente: Gutiérrez et al. 2017)

En la figura 3 se muestran los sectores exhaustivos de escorrentías predominantes de drenaje natural (S_i , donde $i=1, 2, \dots, 7$). Las direcciones, sentidos y magnitud de los caudales se representan proporcionalmente mediante flechas de diferente grosor.

En la figura 4, de manera ilustrativa, se muestran imágenes de la evidencia erosiva E6, asociada con el aporte pluvial del sector de escorrentía S4, donde se puede apreciar la magnitud de las cárcavas.

La no segregación del agua de lluvia en la red de drenaje natural, unida a las deficiencias técnicas y organizativas en el sistema de drenaje pluvial existente, origina altos caudales de escurrimientos que llegan hasta la playa, lo que, unido a la erosionabilidad del terreno y los elementos construidos, incrementan las velocidades de flujo y con ello se propicia la aparición del fenómeno de erosión hídrica.



Figura 3. Sectores de escorrentías predominantes en el drenaje natural de la playa Rancho Luna (Fuente: Gutiérrez et al. 2017)



Figura 4. Evidencias gráficas de la magnitud de la erosión hídrica manifiesta en E6, asociada al sector de escorrentía S4 en la playa Rancho Luna (Fuente: Gutiérrez et al. 2017)

Para mitigar esta problemática se propusieron soluciones de ingeniería hidráulica y costera sinérgicas, sustentadas en el principio de minimizar las escorrentías de las aguas pluviales hacia la playa, entre ellas zanjas de infiltración para evacuar las aguas pluviales de los sectores S4 y S7 hacia el lado opuesto de la playa, donde existe una canal de evacuación (Gutiérrez et al. 2017).

Diseño hidrológico de una zanja de infiltración para el sector S4

Tomando en consideración lo abordado en la primera sección, para evacuar las aguas pluviales del sector S4 se propuso una zanja de infiltración parcial. La obra fue diseñada para infiltrar solamente una parte del volumen de escurrimiento superficial captado y que el resto del volumen se evacue hacia el sistema de drenaje existente (canal de tierra longitudinal al vial), usando una tubería perforada ubicada cerca de la parte superior de la zanja.

Intensidad de las precipitaciones

Barcia y León (2013) obtuvieron las intensidades máximas de precipitación para diferentes intervalos de tiempo y períodos de retorno, según los datos reportados por la estación meteorológica de Cienfuegos. En la figura 5 se muestra la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de Cienfuegos y en la tabla 1 se muestran las intensidades de precipitación (mm/h) para tiempos desde 10 min (0,166 h) hasta 24 h para distintos períodos de retorno.

Los resultados fueron contrastados utilizando el mapa isoyético de las precipitaciones máximas diarias para el 1 % de probabilidad y el nomograma de cálculo de la intensidad de lluvia para diferentes probabilidades y tiempo de duración de la República de Cuba, según las normas cubanas NC 770 (2010) y NC 775-13 (2012). Según la situación geográfica de la playa Rancho Luna se adoptó $350 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ como valor de la precipitación máxima diaria para el 1% de probabilidad.

Se aceptó como tiempo de duración de la precipitación 10 minutos, igual al tiempo de concentración, estimado utilizando el nomograma para la determinación del tiempo de concentración de la lluvia, según la norma cubana NC 770 (2010) a partir de los datos de la longitud de la escorrentía principal, la clase de terreno y el valor de la pendiente. Se consideró un 10 % de probabilidad de lluvia (período de retorno de 10 años), en correspondencia con las características del grado de protección de la playa Rancho Luna, según la norma cubana NC 770 (2010), el cual coincide con el recomendado por MINVU (1996) para la selección de la lluvia de diseño. Para las condiciones anteriores la intensidad de lluvia fue de $2,41 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Dimensionamiento

Como se apuntó anteriormente, el dimensionamiento persigue determinar el tamaño de la zanja y sus elementos principales (MINVU 1996). El principio fundamental para diseñar una zanja de infiltración es que la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona de aportación debe ser menor que la que capta y absorbe la zanja, o sea que la capacidad de esta no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converja (Pizarro et al. 2013).

El área de aporte del escurrimiento superficial del sector S4 que drena hacia la zanja de infiltración es de $10\,978,38 \text{ m}^2$ y el coeficiente de escurrimiento ponderado estimado es de 0,37. En la tabla 2 se muestran los datos utilizados para el cálculo.

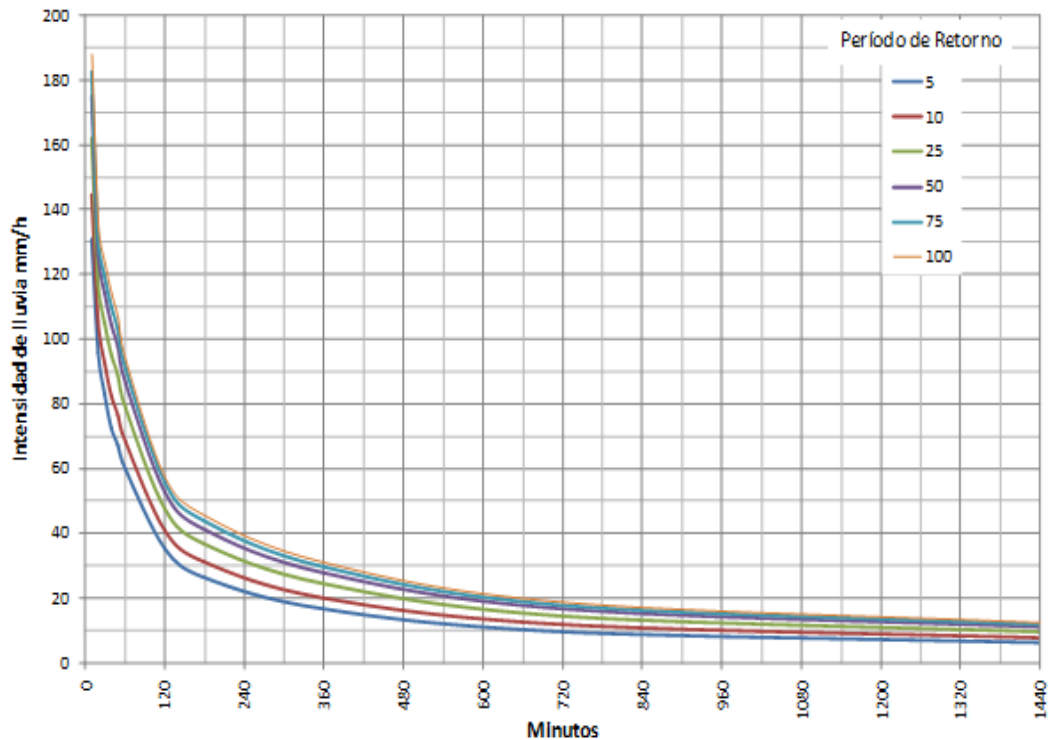


Figura 5. Curva de IDF de Cienfuegos (Fuente: Barcia y León 2013)

Tabla 1. Intensidades de precipitación (mm/h) para tiempos desde 10 min (0,166 h) hasta 24 h para distintos períodos de retorno, según Curva de IDF de Cienfuegos (Fuente: Barcia y León 2013)

Períodos de retorno (años)	Duración de la lluvia (min)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1 440
5	130,7	95,7	82,8	72,5	67,1	59,9	35,2	26,3	16,5	9,7	6,0
10	144,6	105,0	92,6	82,6	76,7	68,2	40,7	31,0	20,0	11,8	7,5
25	162,1	116,8	104,9	95,2	88,7	78,8	47,6	36,8	24,4	14,5	9,5
50	175,1	125,6	114,1	104,6	97,7	86,7	52,7	41,2	27,6	16,5	10,9
75	182,7	130,7	119,4	110,0	102,9	91,2	55,6	43,7	29,5	17,7	11,7
100	188,0	134,3	123,2	113,9	106,6	94,4	57,7	45,5	30,9	18,5	12,3

Tabla 2. Datos para el cálculo del escurrimiento superficial del sector S4 (Fuente: Elaboración propia)

Tipo de superficie	Área de aporte (Ai), m ²	Coefficiente de escurrimiento (Ci)
Áreas verdes	9837,63	0,30
Cubiertas (zinc y tejas)	962,53	0,98
Cubiertas (guano)	178,22	0,70
Total	10 978,38	0.37

El relieve del suelo se clasificó como ondulado con pendientes entre el 5 % y el 10 % y la cobertura de césped se clasificó como “muchacha” con hasta el 90 % de la superficie cubierta según NC 770 (2010).

La tasa de infiltración del suelo se estimó mediante el examen visual y la ejecución de ensayos manuales simples teniendo en cuenta la norma cubana NC 61 (2000) y la clasificación de suelos propuesta por MINVU (1996). El suelo se clasificó como tipo B (mezcla de arena, limo y arcilla), con permeabilidad del orden de $1 \cdot 10^{-2} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ($360 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Estos resultados aseguran las condiciones de factibilidad de la obra recomendadas por MINVU (1996), al ser la pendiente menor que 20 % y tasa de infiltración mayor que 7 mm/h. Asimismo, y como que la capacidad de infiltración del suelo puede disminuir por colmatación en el tiempo, se utilizó el factor de seguridad de 0,75, valor recomendado para una buena calidad del afluente, la no existencia de tratamiento y un mantenimiento regular.

Con los elementos anteriores se procedió a determinar las dimensiones de la zanja utilizando el procedimiento descrito anteriormente, recomendado por MINVU (1996) y utilizado por Flores (2015) y Pizarro et al. (2013). En la tabla 3 se muestran los resultados de la determinación del volumen de almacenamiento (V_{alm}) requerido para el diseño, de $214,5 \text{ m}^3$.

Tabla 3. Determinación del volumen de almacenamiento requerido (V_{alm})
(Fuente: Elaboración propia)

Período de retorno (10 años)	Duración de la lluvia (h)										
	0,166	0,333	0,5	0,666	0,833	1	2	3	6	12	24
Intensidad de precipitación (mm/h)	144,6	105,0	92,6	82,6	76,7	68,2	40,7	31,0	20,0	11,8	7,5
$V_{aft} \text{ (m}^3\text{)}$	113,1	164,7	218,1	259,1	300,9	321,2	383,4	438,0	565,2	666,9	847,8
$V_{inf} \text{ (m}^3\text{)}$	17,7	35,5	53,3	71,0	88,8	106,7	213,3	320,0	640,0	1279,9	2559,9
$V_{alm} \text{ (m}^3\text{)}$	95,3	129,2	164,7	188,1	212,1	214,5	170,1	118,0	-74,8	-613,0	-1712,1

La zanja se debe rellenar con un material pétreo limpio, de diámetro entre 3,5 cm y 7,5 cm y porosidad de un 30 %. El agregado debe estar completamente rodeado por un filtro geotextil.

Se verificó que el tiempo total de infiltración para la lluvia de diseño es menor que 6 h, cumpliendo satisfactoriamente con la recomendación de MINVU (1996) de que sea inferior a 24 horas para la lluvia de diseño.

Las dimensiones de la zanja de infiltración diseñada son: $L = 95 \text{ m}$, $h = 2 \text{ m}$ y $b = 3,76 \text{ m}$. La longitud máxima permitida fue de 50 m, por lo que la zanja debe estar formada por dos tramos de separados por una cámara, y disponer además de cámaras de entrada y salida. El diámetro requerido de la tubería de evacuación es de 326 mm, recomendándose utilizar tubería PVC de 350 mm (14”) perforada y ubicada cerca de la parte superior de la zanja.

En la figura 6 se muestra un croquis de la zanja de infiltración diseñada. Se verificó que la zanja propuesta cumple con las condiciones generales de este tipo de obra de infiltración, en particular la profundidad de la zanja y el nivel freático.

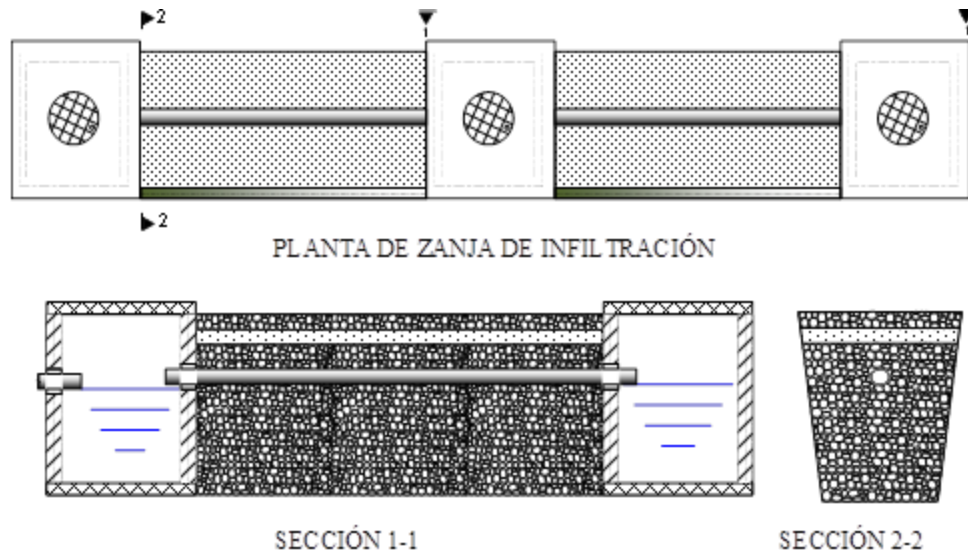


Figura 6. Croquis de la zanja de infiltración diseñada para el sector S4
(Fuente: Elaboración propia)

Según la información topográfica disponible del área propuesta para la zanja, obtenida del mapa topográfico de la playa Rancho Luna 1:500 (CEDIN 1999), se corroboró que las cotas del nivel del terreno son de 3,22 m a 3,82 m con respecto al nivel medio del mar. En la figura 7 se muestra la localización de la zanja de infiltración propuesta para el sector S4.



Figura 7. Localización de la zanja de infiltración propuesta para el sector S4
(Fuente: Elaboración propia)

CONCLUSIONES

- La playa Rancho Luna está severamente afectada por erosión hídrica y requiere de soluciones de ingeniería hidráulica y costera, sustentadas en el principio de minimizar las escorrentías de las aguas pluviales hacia la playa. Se corroboró la pertinencia del uso de zanjas de infiltración como opción para mitigar la erosión hídrica.
- El diseño de la zanja de infiltración propuesta para la playa Rancho Luna cumple con los requerimientos de factibilidad y condiciones generales de este tipo de obra de infiltración. Asimismo, se corroboró que sus dimensiones permiten de almacenar, infiltrar y evacuar el agua para la lluvia de diseño para el grado de protección requerido de la playa.
- Los resultados son tenidos en cuenta por las autoridades ambientales y la entidad explotadora de la playa para la toma de decisiones en el marco del proceso de ordenamiento de la zona costera. Asimismo, en la proyección de las soluciones en correspondencia con el proceso inversionista que debe acometerse.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen al Lic. Eugenio Olalde Chang, especialista del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), por sus contribuciones técnicas en el marco del servicio estatal “Monitoreo y caracterización de los procesos erosivos acumulativos en playas de la provincia Cienfuegos”. Asimismo, reconocen al MSc. Jelvys Bermúdez Acosta, Presidente y Gerente Técnico de GREENG S.R.L., Paraguay, por sus aportes en la proyección de la zanja de infiltración.

REFERENCIAS

- Barcia S. y León O.** (2013). “Determinación de la curva intensidad-duración-frecuencia de Cienfuegos”, Revista Cubana de Meteorología, Vol. 19 No. 1, pp. 1-10, ISSN 0864-151X, Instituto de Meteorología (Insmet), La Habana, Cuba.
- CEDIN (1999).** “Mapa topográfico de la playa Rancho Luna”. Centro de Ingeniería (CEDIN). Ministerio de la Construcción, Cienfuegos, Cuba.
- CITMA (2010).** “Macroproyecto de peligro y vulnerabilidades costeras 2050-2100”. Agencia de Medio Ambiente, Min. de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La Habana.
- CITMA (2017).** “Plan de estado cubano para el enfrentamiento al cambio climático (Tarea Vida)”. Min. de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Extraído de: www.contra.oria.gob.cu/documentos/noticias/FOLLETO%20TAREA%20VIDA.PDF en abril 2017.
- Flores J. P.** (2015). “Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en cuencas sub-húmedas de Chile central”. Tesis Doctoral. Programa de Doctorado “Dinámica de flujos biogeoquímicos y sus aplicaciones”. Universidad de Córdoba, España. Extraído de: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26071/TesisJPFlores2016000001383.pdf?sequence=1&isAlloved=y> en octubre de 2017.

García G., Martínez J. M., Iturralde M., Hernández M., Alcolado P. M., Martínez B., Menéndez L., Junes J. L., Rodríguez C., Fernández A., Arellano M. y Villasol A. (2017). “Zonas costeras de Cuba. Importancia, protección y uso sostenible”, Editorial Científico Técnica, ISBN 978-959-051023-6, La Habana, Cuba.

Gutiérrez O., Castro D. J., Poma J. R., Caravaca L. y Olalde E. (2017). “Diagnóstico del drenaje pluvial de la playa Rancho Luna. Propuesta de plan de medidas de solución”. Servicio Estatal: Monitoreo y caracterización de los procesos erosivos acumulativos en playas de la provincia Cienfuegos. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Cienfuegos, Cuba.

MINVU (1996). “Manual de técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño”. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Santiago de Chile. Extraído de: http://www.minvu.cl/aopensite_det_20070317115825.aspx. en abril de 2014.

NC 61 (2000). “Geotecnia. Identificación y descripción de suelos (examen visual y ensayos manuales simples)”, Norma Cubana. Oficina Nacional de Normalización de Cuba (ONN), La Habana, Cuba.

NC 770 (2010). “Edificaciones-requisitos de diseño del sistema de drenaje pluvial urbano”, Norma Cubana. Oficina Nacional de Normalización de Cuba (ONN), La Habana, Cuba.

NC 775-13 (2012). “Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas-parte 13: Requisitos de hidráulica y sanitaria”, Norma Cubana. Oficina Nacional de Normalización de Cuba (ONN), La Habana, Cuba.

Pizarro R., Flores J.P., Sangüesa C. y Martínez E. (2013). “Diseño hidrológico en zanjas de infiltración”. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda., Talca, Chile. Extraído de: www.uach.cl/externos/epicforce/pdf/.../eias/manuales/d_modulo_diseno_zanja.pdf en octubre de 2017.