

Dimensionamiento de embalses para fincas en Colombia usando como herramienta los modelos de elevación digital

Reservoirs sizing for Colombian farms using digital elevation models

Forero Buitrago Gonzalo Alberto

Resumen



Los modelos de elevación digital o DEM (Digital elevation model), contienen información de elevación de terreno, que puede usarse para visualizar el flujo del agua para diferentes usos en la ingeniería, el presente texto se basa en su uso para sistemas agropecuarios, con el fin de adaptar las condiciones de la tierra, a la necesidad del proyecto en cuanto a disponibilidad de agua, controlando el exceso o escasez mediante obras hidráulicas con técnicas sostenibles.

El correcto análisis y dimensionamiento de estructuras hidráulicas, con técnicas de uso racional de agua lluvia como el (diseño en línea clave), da como resultado canales, embalses y subdrenes, que adaptan sosteniblemente la tierra, para las necesidades de un determinado proyecto.

El uso del almacenamiento adecuado de agua lluvia se optimiza para la producción alimentaria si se establecen sistemas integrados de producción agropecuaria, sistemas que ordenan el funcionamiento de los organismos naturales a fin de maximizar

Abstract



Digital elevation model, has terrain elevation data, which can be used to visualize water flow on the landscape. In order to optimize farming systems, in necessary to control the availability of water, according to the demand of the project and the offer of the rainfalls, reducing areas with excess or scarcity of water.

With a correct analysis technique as (Key line design) and accurate sizing of the hydraulic structures, farmers can use rain water with the correct sized channel, reservoir and underground drainage, that improve the productivity of the farm, according to the expected project.

If rainfall at the farm will be used for an integrated farming systems, controlled water flow increases the natural function of organisms, and production per area without agrochemicals addition. This integrated farming system is named as (VAC) system, (VAC) means “Vuon, ao, chung” in Vietnamese language, which means (garden, pond, Poultry), integrated into

Recibido / Received: Marzo 02 del 2016 Aprobado / Approved: Abril 18 del 2016

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica Terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Centro de tecnologías para la construcción y la madera

Autor para comunicaciones / Author communications: Gonzalo Alberto Forero Buitrago, greenflowconsulting@aol.com

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

la producción por unidad de área sin el uso de agroquímicos, llamados (VAC) systems o “Vuon, ao, chuong” en el idioma de Vietnam, que significa jardín, estanque, aves de corral integrados en un solo sistema productivo sostenible.

Palabras clave: Permacultura, DEM, QGIS, Delimitación de cuencas hidrográficas, Dirección de flujo de agua, calculo de embalses.

a farming productive system producing an important amount of food in a small area, without agrochemicals.

key words: Permaculture, DEM, QGIS, water basin, Water flow direction.

Introducción

En el presente artículo, se dimensionan estructuras de almacenamiento y conducción de agua lluvia para el uso en ganadería, en la finca Mataredonda en Hato Corozal Casanare, mediante el procesamiento de un Digital elevation model (DEM), descargado de la página NASA Reverb del satélite ASTER AST_L1-V003.

Los (DEM), son modelos satelitales con información de elevación de terreno, los cuales pueden procesarse para obtener la información de dirección de flujo del agua lluvia al caer en el terreno delimitando de la cuenca que contiene dichos flujos, lo cual es útil en trabajos de ingeniería de control de agua.

Para cualquier tipo de producción, es necesario el uso de agua, siendo la manera más accesible al recurso el agua lluvia. Es por esta razón que es indispensable para un agricultor, ganadero o piscicultor, conocer las diferentes direcciones de flujos y las cantidades necesarias para abastecer su sistema productivo, ya que el agua es un factor limitante para los mismos.

Si una siembra de árboles necesitar un nivel freático más abajo de un metro de la superficie, debido a la pudrición de raíces como es el caso del caucho, mientras otro sistema productivo necesita estar inundado como el arroz. Por tanto el escenario dependerá del producto y las condiciones únicas de la finca.

Estas condiciones de la finca pueden conocerse y controlarse mediante el procesamiento de un (DEM), con la finalidad de hacer un uso racional del recurso que se adapte a las condiciones de necesidad de la finca, de

manera que se use únicamente el agua que necesita el sistema productivo acorde con la oferta hídrica de agua lluvia de la región.

Dichos requerimientos especiales, requieren un entendimiento global del flujo del agua en la propiedad, para adaptar el paisaje con técnicas sostenibles según sea la necesidad. Este entendimiento se puede obtener por un estudio topográfico de precisión para hallar las curvas de nivel en el terreno u otras alternativas como los modelos de elevación digital obtenidas por satélite o fotografías aéreas, dependiendo de la precisión requerida.

Posterior a analizar las elevaciones dentro del terreno, habría que interpretar de las curvas de nivel para saber como fluye el agua sobre el terreno y dimensionar las estructuras con un caudal de diseño calculado con el método racional de acuerdo al área de captación de la cuenca seleccionada en Hectáreas, la intensidad de la lluvia de la región en (l/s*Ha) y el coeficiente de escorrentía que da un porcentaje del agua que escurre sobre la superficie al caer como lluvia.

Este proceso se realiza para calcular una tormenta de diseño cuyo resultado es un volumen de agua por unidad de tiempo o caudal en (l/s), con el cual se podrá dimensionar un canal, embalse o cualquier estructura hidráulica de control. Para realizar todo el proceso anterior, siempre se hace necesario conocer las curvas de nivel en el terreno.

Con el fin de evitar costos de llevar equipos topográficos a una finca que puede quedar lejos de una ciudad,

el procesamiento de un DEM con una buena precisión, es una buena opción, ya que con el procesamiento del modelo se pueden generar las curvas de nivel del terreno, la dirección de flujo del agua lluvia al caer al terreno y por tanto la delimitación de la cuenca a estudiar.

Los (DEM), tienen diferentes resoluciones, a partir de ello se da la precisión en la ubicación, dependiendo de la misión, el satélite y las condiciones climatológicas puede variar dando (mayor o menor precisión), estos DEM deben tener una orto corrección que debe verificarse al adquirir el (DEM).

En cuanto a costos, es más económico usar el DEM que realizar un levantamiento topográfico, de esta manera el precio es más accesible para la gente del campo y puede tener una idea más precisa de los flujos de agua en su terreno.

Es de suma importancia recalcar que el uso responsable y con técnicas no perjudiciales para el ecosistema, son de gran beneficio, mientras que si se maneja irresponsablemente el agua se pueden generar procesos de sequía o inundación no deseadas, por esta razón el presente artículo promueve el uso del agua según la necesidad del sistema productivo.

Objetivos

- Dimensionar embalses y otras estructuras hidráulicas adicionales en la finca Mataredonda Casanare para abastecer las necesidades productivas.
- Realizar el análisis de dirección de flujo de agua y generación de cuencas hidrográficas mediante la herramienta QGIS.
- Analizar los datos de lluvia de la región.
- Analizar las variables del tipo de suelo de la región.

Metodología

La metodología usada, es el PEC, proceso de examinación creativa Briand, A. (2004), donde se analizan dos escenarios de la finca con la finalidad de acercarse a la situación ideal esperada por los propietarios, por lo cual se realiza el análisis de los escenarios insatisfactorio e ideal, escenarios de los cuales se desprende la estrategia más efectiva y económica para llegar del escenario

insatisfactorio al escenario ideal esperado por los propietarios, a los que se les pregunta lo que se quiere corregir en la finca dependiendo de la necesidad que existe.

Situación insatisfactoria: Inundación de lotes en la época lluviosa, sequía general y desabastecimiento de agua en la finca en la época de verano para animales y plantas.

Situación ideal: Almacenar y mantener el agua lluvia de los meses lluviosos en estructuras para abastecer la finca en la época seca, en las partes más altas de la finca para poder conducirla por gravedad a otros sectores donde se pueda necesitar en la época seca.

Estrategia: Realizar un análisis espacial del terreno y del flujo de agua en la finca, con el fin de verificar posibles sitios de almacenamiento de agua lluvia durante la época de lluvias, para que este disponible en la época seca. Ubicar y dimensionar estas estructuras en las partes más altas de la finca para poder conducirla por gravedad a otros puntos donde pueda necesitarse.

El método Racional: Es un método de cálculo del caudal de diseño o tormenta de diseño, el cual está definido por las siguientes variables. Acueducto de Bogotá (2016).

$$Q = C * I * A$$

C = Coeficiente de escorrentía (Adimensional)

I = Intensidad de la lluvia en litros/segundo*Hectárea

A = Área de captación en hectáreas

Q = Tormenta o caudal de diseño en (l/s)

Para poder usar esta fórmula y calcular la tormenta de diseño para dimensionar las estructuras hidráulicas, se hace necesario tener las curvas de nivel con la finalidad de obtener el área de captación de la cuenca en Hectáreas.

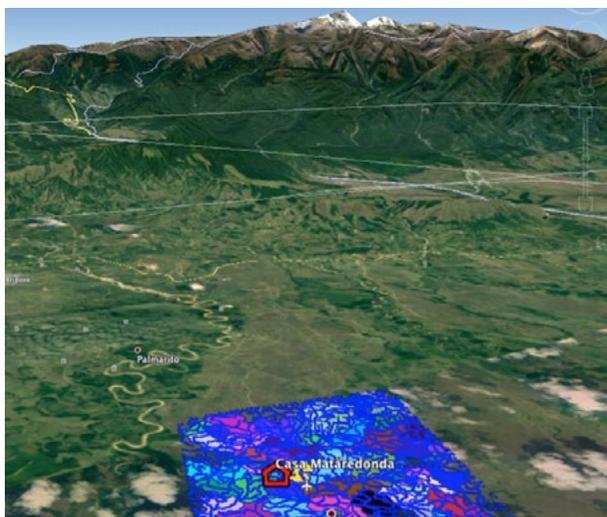
Mediante el proceso de un modelo de elevación digital, se puede obtener esta delimitación de la cuenca, por tanto el área de captación en Hectáreas con una precisión aceptable para el cálculo de una obra hidráulica.

El coeficiente de escorrentía, es un número adimensional que da un porcentaje de agua que escurre por encima de la superficie al caer sobre ella, de esta manera el coeficiente de escorrentía de una superficie como el concreto o el

asfalto varía entre 0,8 a 0,9 ; mientras que una superficie natural como arena o arcilla varía de un 0 a un 0,4 debido a que el porcentaje de infiltración es mayor. Acueducto de Bogota (2016) La manera de interpretar estos datos es que en estas superficies semi impermeables como el concreto o el asfalto, con un C de 0,8 o 0,9 el 80 o 90% del agua escurre por encima al caer, mientras que en una superficie natural máximo un 40% escurre por encima, si la pendiente es mayor a un 7% y la textura tiende a la impermeabilidad. Acueducto de Bogota (2016)

Interpretación del paisaje

Figura 1. análisis general del paisaje de la finca



Fuente: google earth Octubre 2016, DEM ASTER ASTM_L1V003 procesado con QGIS.

La vista del paisaje en general, demuestra que la pendiente natural del terreno, viendo el nevado del Cocuy en la parte superior de la imagen, se ve que existen dos flujos predominantes, uno es hacia el río Ariporo, que es el río que se ve a la izquierda de la imagen. El otro flujo se da hacia la pendiente natural de la montaña que lleva el agua en dirección a la parte inferior de la imagen, es por esta razón que se deben analizar las curvas de nivel, cuencas y direcciones de flujo para saber que camino puede llegar a tomar el agua, si hacia el río Ariporo o hacia la parte baja de la imagen.

Para procesar un modelo de elevación digital, primero debe descargarse, en este caso se descargo de la pagina de Nasa Reverb. Después de tener el modelo, debe procesarse, en este caso se utilizo para el procesamiento el programa QGIS, proceso que consiste en un

llenado de puntos que no tienen información, que se da por la interpolación de datos de alturas. Al tener corregido el modelo, se pueden sacar las direcciones de flujo del agua sobre el terreno, para con estos generar las cuencas que darán el área de captación definida con la finalidad de poder calcular la tormenta de diseño para el dimensionamiento de los embalses.

Las cuencas, se visualizan de diferentes colores, la dirección de flujo del agua al caer en el terreno es de color azul oscuro, vale la pena aclarar que no se trata de ningún río ni caño, es agua superficial que escurre por la superficie después de llover, por lo que el presente artículo no se trata de canalizar ríos o caños, si no de aprovechar el agua lluvia cuando cae.

Con el fin de dimensionar los embalses en la parte central y más elevada de la finca, se generan las curvas de nivel para verificar alturas y establecer las áreas de captación de los embalses a ubicar y dimensionar en el presente texto.

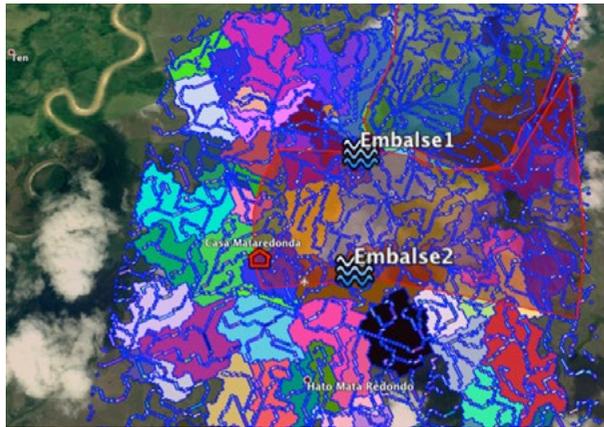
Con la herramienta QGIS, se generaron curvas de nivel y cuencas con el fin de establecer áreas de captación para 2 embalses, los cuales se ubicaron estratégicamente, analizando las curvas de nivel para que queden en la parte más alta y central de la finca, midiendo directamente las áreas de captación. A cada embalse se le dio nombre para diferenciar su dimensionamiento y ubicación como embalse 1 y embalse 2, cada uno con sus respectivas áreas de captación, de los cuales se realiza el respectivo dimensionamiento con el método racional.

Figura 2. curvas de nivel para establecer áreas de captación de los embalses



Fuente: google earth Octubre 2016, DEM ASTER ASTM_L1V003 procesado con QGIS.

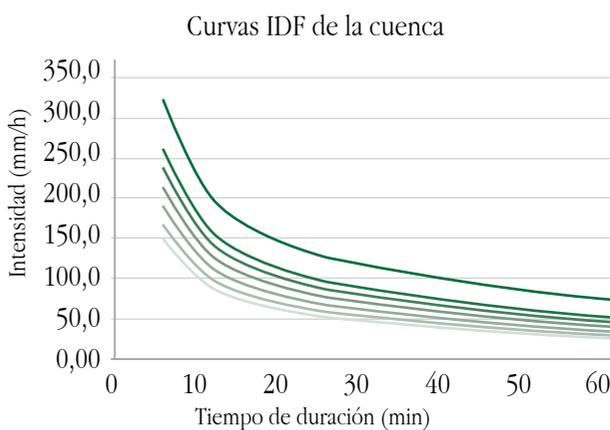
Figura 3. Ubicación de embalses y áreas de captación



Fuente: google earth Octubre 2016, DEM ASTER ASTM_L1V003 procesado con QGIS.

Como se menciono anteriormente, el metodo racional para hallar la tormenta de diseño necesita tener el área de captación de cada uno de los embalses que se halla con el análisis de curvas de nivel, las curvas IDF que se hallan con los datos de la estación meteorologica más cercana a la finca, en este caso la estación 36010030 de Santa Rita del IDEAM, con sus datos de precipitación maxima diaria, con un historico de 19 años.

Figura 3. Curvas IDF de la finca Mataredonda.

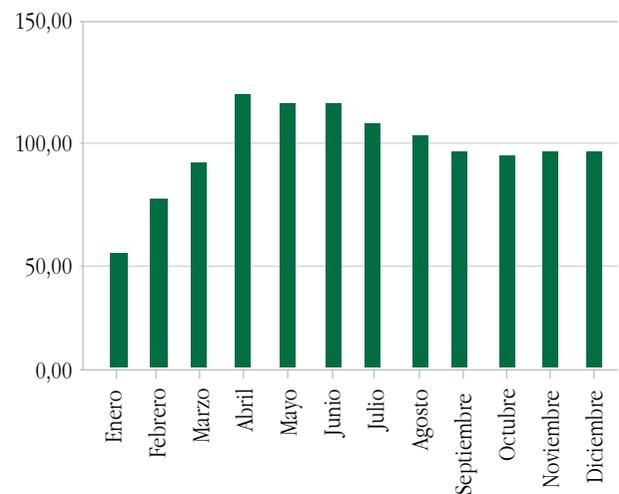


Fuente Estación 36010030 de Santa Rita del IDEAM

Se realizó el análisis de datos de precipitación maxima en 24 horas de la estación meteorologica del ideam más cercana a la finca, que es la estación 36010030 del IDEAM. Con los 19 años de datos de lluvia maxima en 24 horas, se realizó el análisis de distribución de probabilidades pluviométricas de Gumbel, hallandose las curvas

IDF, con la finalidad de hallar la intensidad en unidades (l/s*Ha), para posteriormente con el metodo racional hallar la tormenta de diseño de los embalses y canales de conducción de agua.

Figura 4. Máximos de precipitación mensual en milímetros.



Fuente Estación 36010030 de Santa Rita del IDEAM

Grafico de los maximos de lluvia mensual en el historico de datos de lluvia en la estación meteorologica 36010030 del IDEAM, siendo los mayores valores en tres meses, Abril con 127, 10 mm, Mayo con 123,40 mm y Junio con 122,00 mm, es en estos tres meses de máxima precipitación se hace indispensable la recolección de agua lluvia para tenerla disponible en la epoca seca.

Pasos de dimensionamiento de embalses

Para saber cuanta agua se necesita, se calcula la cantidad requerida para plantas y animales:

600 Vacas con un consumo de 50 litros/ dia*Vaca, da un consumo anual de 10950m³ de agua para las vacas.

1,81 Hectareas de cultivo con un consumo de 5000 m³ /Ha * año, da una necesidad de 9050 m³ de agua para el cultivo.

Consumo total para el numero de animales y plantas = 20.000 m³/año.

Cálculo de áreas de Captación con QGIS, en los puntos de ubicación de los Embalses: Embalse 1. (637 Hectáreas);

Embalse 2. (728 Hectáreas) en QGIS, lo del escurrir por encima una necesidad de 9050 m³ de agua para el cultivo. amiento de los embalses agua escurrir por encima.

Precipitación promedio anual: 607.0 mm, estación 36010030 Santa Rita. Ideam (2016)

Coefficiente de escorrentía: El coeficiente de escorrentía, define la cantidad en porcentaje de agua que cae en el suelo que se vuelve escorrentía superficial, para esto se realizaron pruebas en el terreno, para determinar tipo de suelo, es decir su granulometría a partir de análisis prácticos en terreno, ya establecidos por expertos en el tema de suelo.

Tabla 1 Granulometría del suelo y diámetro de la partícula

Clasificación del suelo según el tamaño de sus partículas	
Nombre de las divisiones del suelo	Limites en diámetro (mm)
Arcilla	Menos de 0,002
Limo	0,0002-0,005
Arena muy fina	0,05-0,1
Arena fina	0,1-0,25
Arena media	0,25-0,5
Arena gruesa	0,5-1
Arena muy gruesa	1-2

Fuente: Grass Eugenio (2009)

Si el grano de la partícula es grande, mayor será la infiltración de agua al acuífero subterráneo, debido al mayor espaciamiento entre ellas, por esta razón en la arena hay una mayor tasa de infiltración que en la arcilla.

Es por esta razón, que se hace necesario establecer el tipo de suelo, buscar la forma de realizar ensayos prácticos en finca para saber la composición del suelo en cuanto a si predomina la arena o la arcilla y así establecer un coeficiente de escorrentía aproximado.

Por esta razón, en la finca se realizaron dichos ensayos según la metodología de clasificación de suelos sugerida por el experto Eugenio Grass (2009).

Figura 5. Pruebas en campo para determinar granulometría del suelo

- **Arena:** El suelo se amontona en granos pero no puede ser moldeado.
- **Franco Arenoso:** Moldeable en esferas, se desgrana fácilmente con más sedimento. 2, 5 cm
- **Limo,** puede enrollarse en cilindros cortos.
- **Franco,** partes iguales (arena, sedimento y arcilla), se pueden hacer cilindros largos de 15cm, se rompen al doblarse.
- **Franco Arcilloso,** no se pueden hacer cilindros largos de 15cm pero puede doblarse en U sin romperse.
- **Arcilla liviana:** Suelo suave y se agrieta un poco al doblarse en círculos.
- **Arcilla:** Moldeable como plastilina, se dobla en círculo sin grietas.

Fuente: Grass Eugenio (2009)

Durante la visita técnica a la finca, en Enero de 2016, se realizaron al suelo de diferentes áreas, pruebas manuales, llegando a la conclusión de que el suelo de la finca mataredonda es arenoso, ya que dicho suelo no es moldeable en esferas sin quebrarse, lo cual es indicio de presencia de arena. A simple vista se observa que el tamaño de grano es más grande que el de la arcilla, por tanto se determinó esta clasificación del suelo para así escoger el respectivo coeficiente de escorrentía, aunque tiene partes arcillosas es predominantemente arenoso.

Es importante resaltar que la finca al ser ganadera en su mayor parte esta cubierta de pastizales, el pasto no protege al suelo del calentamiento por la incidencia directa del sol, lo cual redundará en un mayor escurrimiento superficial debido a la temperatura del suelo. Coats C. (2003). Con el dato de precipitación promedio anual de 607.0 mm, estación 36010030 Santa Rita, la más cercana a la finca, se ubica esta precipitación en la Tabla 2 de escurrimiento en porcentaje, donde llega a un valor de un 8% como máximo.

Debido al calentamiento del suelo por la exposición directa al sol en pastizales, este porcentaje se aumenta en un 4%, dando como resultado un coeficiente de escorrentía de un 12%, del total de agua que cae, con la finalidad de hallar un caudal de diseño para el dimensionamiento de los embalses. A continuación se presenta la tabla de escurrimientos de captación, usada por experimentados diseñadores de embalses en tierra Darren Doherty-Eugenio Grass (2009).

Este aumento del 4% se debe a que los flujos de agua tienden a moverse de la parte más cálida a la más fría,

por tanto si el suelo esta más caliente que el agua, esta tendera a moverse rapidamente a la parte más fria que en este caso sera el arroyo cercano, este movimiento de escurrimiento rapido debido al cambio de la cobertura de bosque a una más decubierta y expuesta al sol es la causante de los procesos actuales de inundación y sequia.

Tabla 2. Porcentajes de escurrimiento según la precipitación promedio anual y el tipo de suelo de la finca.

Esgurrimientos de áreas de captación						
Nombre de las divisiones del suelo	Limites en diámetro (mm)	Confiability años	Esgurrimientos como % de precipitación anual y suelos			
			% Arenosos superficiales	% Areno arcilloso	% Arcilloso elástico	% Arcillos inelástico polvoso
>1100	-	8	10-15	10-15	15-20	15-20
	-	9	6,5-10	5,5-10	10-13	10-16,5
901-1100	-	8	10-12,5	10-15	12,5-20	15-20
	-	9	6,5-8	6,5-10	8-13	10-13
501-900	<1300	8	7,5-10	7,5-15	7,5-15	10-15
		9	5-8,5	5-10	5-10	6,5-10
	-1300-1500	8	5-7,5	6-12,5	6-10	10-15
		9	3-5	3-8	3-8,5	6,5-10
401-500	1500-1800	8	2,5-5	6-10	2,5-5,7	7,5-12,5
		9	1,5-3	3-8,5	1,5-3	5-8
250-400	<1800	8	0-2,5	0-5	0-2,5	2,5-7,5
		9	0-1,5	0-3	0-1,5	1,5-5
	>1800	8	0	0-2,5	0	2,5-5
		9	0	1-1,5	0	1,5-3

Fuente: Darren Doherty-Eugenio Grass 2009

Cálculo de la tormenta de diseño

Se calcula con un periodo de retorno de 2 años para un aguacero de 30 minutos, tiempo estimado en el tiempo de duración de recorrido de una gota de agua en la cuenca desde la parte más alejada hasta la entrada al embalse. Atrium (1992).

- Embalse 1

$$Q = C * I * A$$

C=0,12 Coeficiente de escorrentia (Adimensional)

I= 139,6634 Intensidad de la lluvia en litros/segundo*Hectárea

A= 637 Área de captación en hectáreas

Q= 10.675,91 Tormenta o caudal de diseño en (l/s)

- Embalse 2

$$Q = C * I * A$$

$C=0,12$ Coeficiente de escorrentia (Adimensional)

$I= 139,6634$ Intensidad de la lluvia en litros/segundo*Hectárea

$A= 728$ Área de captación en hectáreas

$Q= 12.200,99$ Tormenta o caudal de diseño en (l/s)

- Calculo de dimensiones del embalse

Se calculan dos embalses trapezoidales, para llenarse en 17 minutos el embalse numero 1, para una capacidad de 11.000 m³.

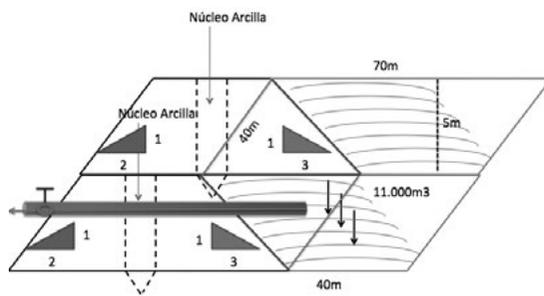
El segundo embalse de la misma capacidad de 11.000 m³, al tener una diferente área de captación, se llena en 15 minutos.

Se tiene con los dos embalses, una capacidad de 22.000 m³, suficiente para cubrir la demanda de la finca de 20.000 m³.

Cada embalse cuenta con taludes 1:2 y 1:3 como se ve en la figura darle una dirección hacia al piso a los empujes del agua a las paredes del embalse. Las dimensiones de los embalses son: El embalse tiene forma trapezoidal de 5 metros de altura, 40 metros de base menor, 70 metros de base mayor y 40 metros de profundidad (Ver Figura 6). Los embalses cuentan con nucleos de arcilla en la estructura de cerramiento del embalse, además de una capa de 60 cm de arcilla por debajo para impermeabilizar el fondo y así evitar la pérdida de agua por infiltración al fondo de los embalses.

Cada embalse cuenta con una tubería de salida por gravedad, generadas por la fuerza de empuje del agua en el fondo del estanque, esto permite llevar el agua a donde se requiera al quedar los embalses localizados en las partes altas de la finca, a los embalses se le dara por seguridad un borde libre de un 10%, según las recomendaciones de diseño de los ingenieros militares de Estados Unidos.

Figura 6. Detalles del embalse



Fuente: Adaptado de Grass (2009)

- Calculo del aliviadero y canal de conducción de agua. Carmona (2014)

Para evitar que se llenen totalmente los embalses, se calcula una estructura de alivio, que transporta el exceso de lluvia despues de que el embalse este en su maxima capacidad por rebose en forma de vertedero, a un canal de desviacion, dirigido de la vertiente a la ladera, con la finalidad de depositar estos excesos en las partes más secas del paisaje que son siempre las laderas, esto se realiza con la interpretación de curvas de nivel.

12.200,99 (l/s), es la tormenta o caudal de diseño, la estructura de alivio y el canal, deben tener la capacidad de evacuar el volumen de un aguacero estando el embalse lleno, evacuar el agua y de conducirla en un tiempo corto.

$$V_0 = 1/n * R^{(2/3)} * S^{(1/2)}$$

V_0 = Velocidad a tubo lleno

R = Radio hidraulico en metros, para aliviadero rectangular.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning según el material. Se escogio un aliviadero en cemento, con un valor n de 0,015.

S = Pendiente del aliviadero en metro/metro. 1% de pendiente para el aliviadero.

$$Q = V * A$$

A = área de la seccion transversal del aliviadero en metros cuadrados

Para un aliviadero de medidas de 2 metros de longitud y 0,20 metros de altura, con 1% de pendiente, da un caudal de 0,80 m³/s, que es capaz de evacuar el caudal de 12,2 m³/s en 15 segundos, caudal a evacuar para evitar el rebosamiento del embalse y guiarlo por un canal circular a las laderas o partes mas secas de la finca.

El calculo del canal rectangular, que lleva el agua del aliviadero a las laderas, se deja de las mismas medidas del aliviadero con un 10% adicional de borde libre para el asentamiento de solidos, con la finalidad de llevar el caudal de agua de rebose a las laderas o partes más secas de la finca, de acuerdo al análisis de curvas de nivel.

Conclusiones

- Es necesario, realizar un estudio de la oferta y demanda de agua y los flujos en el terreno para calcular de acuerdo a la necesidad de lo que se requiere, para lo cual los DEM son herramienta fundamental que facilita el proceso y da una amplia visión de lo que sucede en una finca para controlar adecuadamente el recurso agua dentro de las mismas.
- DEM, se debe usar como herramienta fundamental en el campo, con el fin de optimizar y mejorar las condiciones productivas de las fincas, de acuerdo a los proyectos productivos que se quieran llevar a cabo, manejados de una manera responsable y teniendo en cuenta la normatividad regional y nacional de los procesos de drenaje.
- Se hace necesario un análisis de implementación de VAC systems en dichos embalses con la finalidad de establecer una tasa de retorno de los costos de inversión de construcción del embalse con dinero-producto de la venta de alimentos.

Referencias

- [1] Biblioteca Atrium de las instalaciones de agua, Volumen 1, Redes de saneamiento público (1992), Ediciones Atrium S.A.
- [2] Carmona Perez Rafael (2014), Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras), Ecoe ediciones.
- [3] Coats, C. (2003). Living Energies. Austria.
- [4] Grass, E. (2009). Cosecha de agua y tierra, diseño con permacultura y Key line. Mexico: COAS Editores.
- [5] Grass, E. (2009). Diseño Hidrológico de suelos. Permacultura y diseño en línea clave, Medellín Colombia.
- [6] Norma NS 085 Acueducto de Bogotá (2016).
- [7] Ideam histórico de precipitación promedio anual estación 36010030 Octubre de (2016).
- [8] Buitrago, G. A. F. (2015). Integrated farming system for the foothill-regions of Colombia—Ariporo System (AS). Revista de Tecnología, 12(2).

El Autor



Alberto Forero Buitrago

Ingeniero Ambiental de la Universidad El Bosque, con un Master en Gestión ambiental y de calidad para empresas. Experiencia en el diseño hidrológico de suelos en Colombia, investigador de la Universidad El Bosque. Diseñador del curso del SENA a nivel Nacional de Sostenibilidad Hidrológica de Suelos en las construcciones de vivienda, instructor actual de la institución SENA en las áreas de hidráulica, hidrología, filtros y drenajes e instalaciones hidráulicas. Alumno del Ingeniero Jaime Romero en la solución de problemas complejos de ingeniería. Realizó un Postgrado con el experto en diseño en línea clave Eugenio Grass y el Ingeniero Roberto Niño en diseño de reservorios, canales, tuberías, sumideros, pozos de inspección, drenajes para agua subterránea. Capacitación y experiencia laboral con el Ingeniero Jorge Granados en cálculo y dimensionamiento de estructuras hidráulicas y sistemas de bombeo para edificaciones

