

ISSN 2070-836X

APORTE SANTIAGUINO

Revista de Investigación

Volumen 5 n.º 1, enero – junio 2012

*Ciencia,
cultura,
tecnología
e innovación*



Huaraz, Perú



ARTÍCULOS ORIGINALES

Resistencias y costos unitarios de concretos elaborados con agregado grueso, piedra partida y canto rodado de la cantera Tacllán. [Resistance and costs unit of concrete produced with thick broken stone coarse aggregate and boulder from the quarry Tacllán].....	9
<i>Victor Raúl Villegas Zamora, Miguel Ronald Corrales Picardo</i>	
Modelos de las Intensidades – Duraciones y Frecuencias de las Tormentas en la estación Meteorológica Yanacancha San Marcos (Huari – Ancash). [Models of Intensity – Duration and Frequency of the Storms in Yanacancha Meteorology Station(Huari – Ancash)]......	14
<i>Toribio Marcos Reyes Rodríguez</i>	
Aplicación de técnicas difusas en las metodologías matriciales de la evaluación de impacto ambiental. [Application of fuzzy techniques in the matrix methodologies of environmental impact assessment].....	19
<i>Pedro Valladares Jara</i>	
Elaboración de instrumentos basados en el aprendizaje social para el proceso de extensión de educación ambiental en el ámbito de la comunidad campesina de Cátac, Ancash Perú, 2011. [Development of instruments based on social learning for the extension process of environmental education in the area of rural community Cátac, Ancash Perú, 2011]......	28
<i>Eladio Guillermo Tuya Castillo, Heraclio Fernando Castillo Picón, Jerónimo Víctor Manrique, Rosa Rodríguez Anaya</i>	
Evaluación del contenido de Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc en los suelos fluvisoles del Callejón de Huaylas entre los 1800 y 3 700 msnm, Ancash, Perú, 2011. [Evaluation of copper, iron, manganese and zinc content in the fluvisols of Callejón de Huaylas between 1800 and 3700 m.o.l, Ancash, Perú, 2011]......	36
<i>Juan F. Barreto R. y Gelar I. Huaytalla T.</i>	
Efecto de la pobreza en la degradación de los recursos naturales focales del Parque Nacional Huascarán. [Effect of poverty in the degradation of natural resources focus Huascarán National Park] ..	43
<i>Francisco Huerta B., Denis Mendoza R.</i>	
El lugar antropológico como variable fundamental para el desarrollo de la identidad cultural. [The anthropological place like fundamental variable for the development of cultural identity].	53
<i>Jorge Brower B.</i>	
Segregación en aves insectívoras con base en la morfometría del pico y la longitud total. [Segregation in insectivorous birds based on morphometry beak and the total length]	60
<i>César Chávez-Villavicencio, Carolina Sáenz-Bolaños y Manuel Spínola-Parallada</i>	

Proceso metalúrgico alternativo para la minería aurífera artesanal. [Alternative process for metallurgical artisanal gold mining].	68
<i>Vidal Aramburú R; Julián Pérez F; Pablo Núñez J; Ángel Azañero O; Sósimo Fernández S; Pedro Gagliuffi E; Pilar Áviles M; Sally Sedano A; Carlos Rivera R; Luis Sánchez Q.</i>	
Situación actual e importancia de las comunidades macrotérmicas y/o xerofíticas de la zona de Cupisnique. La Libertad, Perú, 2010. [Current status and importance of macrothermal and/or xerophytic communities in the area of Cupisnique. La Libertad, Peru, 2010].	74
<i>Freddy Mejia Coico, José Mostacero L., Luis Taramona R., Fernando Castillo P., José Vera R.</i>	
Modernización y festividades religiosas en la zona andina de Huaraz: el caso de Cóyllur, Paria y Unchus. [Modernization and religious festivities in Huaraz's andean zone: cases Coyllur, Paria and Unchus].	86
<i>Guillermo Gomero C., Dany Paredes A, José Yovera S.</i>	
El Decreto Legislativo N° 882 y la desnaturalización de la Universidad. [Article on the denigration of University Education].	94
<i>José Clemente Flores Barboza</i>	

Modelos de las intensidades – duraciones y frecuencias de las tormentas en la estación meteorológica Yanacancha San Marcos (Huari – Ancash)

Models of intensity – duration and frequency of the storms in the Yanacancha Meteorology Station(Huari – Ancash)

Toribio Marcos Reyes Rodríguez^{1*}.

RESUMEN

En el Perú la mayoría de las estaciones pluviométricas miden precipitaciones de duración diaria, pero para el diseño de las estructuras de drenaje pluvial tales como drenaje de vías y zanjas de desvío en conservación de suelos se requiere precipitaciones de duración más corta que 24 horas. Con los datos pluviométricos (2001-2009) de la Estación Meteorológica Yanacancha de la Compañía Minera Antamina S.A. (San Marcos, Huari, Ancash, Perú), se generaron modelos de intensidad - duración y frecuencias (IDF), utilizando técnicas de regresión no lineal, y para calcular sus parámetros correspondientes se emplearon los programas computacionales SPSS 18, SPLUS 8 y TANAGRA. Los modelos IDF más significativos que se generaron con los datos de la estación meteorológica Yanacancha son de los tipos: Organización Meteorológica Mundial, Wenzel, Demetris Koutsoyiannis y de Tomarr; estos modelos se puede utilizar para el diseño de estructuras de drenaje pluvial en el Callejón de Conchucos (Ancash, Perú).

Palabras clave: Tormentas y modelos de intensidad, duración y frecuencia.

ABSTRACT

The majority of the pluviometric stations in Peru measures rain fall of daily duration, but for designing of the drainage structures such as highway ditches and channel in soil conservation they are required rainfall of duration more short that 24 hours. With the pluviometric data (2001 - 2009) of the Yanacancha Meteorological Station of the Antamina S.A. Mining Company (San Marcos,Huari, Ancash, Peru), they were generated intensity – duration and frequency models for this station, using no lineal regression techniques and to calculate theirs parameters these are the software SPSS 18, SPLUS 8 and TANAGRA. The intensity – duration and frequency models more significant which these were generated for Yanacancha Meteorological Station are of the types: World Meteorology Organization, Wenzel, Demetris Koutsoyiannis and the Tomarr, these models were can to use for the designing of pluvial drainage structure at Callejón de Conchucos (Ancash, Perú).

Key words: Storms and intensity, duration, frequency models.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
^{*} Ingeniero Agrícola.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las estaciones pluviométricas en el Perú miden precipitaciones de duración diaria. Sin embargo, cuando se desea realizar diseños hidrológicos para estructuras de drenaje vial tales como cunetas de las carreteras y zanjas de coronación, estructuras de drenaje urbano como las alcantarillas pluviales y drenaje superficial de suelos agrícolas, se requiere precipitaciones con duraciones más cortas que la duración diaria; para subsanar este inconveniente se recurre a ecuaciones deducidas en otros países sin la validación correspondiente para nuestra realidad.

En la estación meteorológica Yanacancha de la Compañía Minera Antamina S.A. se tiene datos de precipitaciones de paso corto de 5 y 60 minutos, desde el 2001 al año 2009, estos datos se utilizaron para generar los modelos de las intensidades – duraciones y frecuencias de las tormentas, estos modelos serán aplicables para la zona de influencia de esta estación meteorológica Yanacancha.

La estación meteorológica Yanacancha se encuentra ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash. Geográficamente está ubicada en la latitud 09°33.8'S, longitud 77°1.9'W y altitud 4189 m.s.n.m.

Los modelos de intensidad – duración – frecuencia (IDF) que se utilizaron para el trabajo de investigación son:

El modelo de Demetris Koutsoyiannis (Minhn, 2006):

$$I = \frac{a - b (\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})))}{(D + c)^d}$$

Donde:

- I = Intensidad de la tormenta
- T = Período de retorno
- D = Duración de la tormenta
- a, b, c y d = Parámetros del modelo

El modelo de la Organización Meteorológica Mundial (Minhn, 2006):

$$I = \frac{a + b (\ln (T))}{(1 + D)^c}$$

Donde:

- I = Intensidad de la tormenta
- T = Período de retorno
- D = Duración de la tormenta
- a, b, c = Parámetros del modelo

El modelo Wenzel (Chow, 1994):

$$I = \frac{a T^b}{D^c + d}$$

Donde:

- I = Intensidad de la tormenta
- T = Período de retorno
- D = Duración de la tormenta
- a, b, c, d = Parámetros del modelo

(McCuen 2005, 188), hace referencia a las ecuaciones que relacionan las intensidades y las duraciones correspondientes de las tormentas.

$$I = \frac{a}{D+b}; D \leq 2 \text{ horas}$$

$$I = aD^b; D > 2 \text{ horas}$$

Donde:

- I = Intensidad de la tormenta
- D = Duración de la tormenta
- a, b = Parámetros del modelo

Entre las alturas de precipitaciones máximas anuales y sus duraciones correspondientes existen escalamientos del tipo, según (Borga, 2005):

$$P(\lambda D) = \lambda^n P(D)$$

Donde:

- P = Precipitación máxima anual (mm)
- D = Duración de la precipitación máxima anual (min)
- λ = Factor de escala
- n = parámetro cuyos valores varían de 0,3 a 0,5

Las tormentas son perturbaciones meteorológicas caracterizadas por fuertes aguaceros acompañadas de vientos y fenómenos eléctricos, (Martínez, 2005). Las precipitaciones según las intensidades se pueden clasificar en ligeras, moderadas y fuertes, tal como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Categorías de las precipitaciones

Categoría	Intensidad (mm/h)
Ligera	< 2,5
Moderada	2,5 a 7,6
Fuerte	> 7,6

Fuente: Martínez, 2005

El tiempo de concentración para cuencas urbanas no debe ser inferior a 15 minutos y en ningún caso menor de 10 minutos.

El objetivo general del presente trabajo de investigación fue determinar el comportamiento de las precipitaciones máximas anuales en la ciudad de Huari con los datos obtenidos en la estación meteorológica Yanacancha (San Marcos, Huari, Ancash, Perú).

Objetivos específicos:

- 1) Generar ecuaciones para las precipitaciones, duraciones y frecuencias de las tormentas como datos de la estación meteorológica de Yanacancha.
 - 2) Obtener ecuaciones de las intensidades, duraciones y frecuencias para las tormentas con los datos obtenidos de la estación meteorológica de Yanacancha usando los modelos de la Organización Meteorológica Mundial, de Wenzel, de Demetris Koutsoyiannis y Tomarr.
- máxima cada 5 minutos por mes y año, desde 2001 hasta el 2009.
 - Se seleccionaron las alturas de precipitaciones máximas anuales con sus duraciones correspondientes obtenidas en el paso 3.
 - Se ajustaron a modelos de distribución de probabilidades teóricas los valores obtenidos en el paso 4.
 - Se generaron ecuaciones de la intensidad, duración y frecuencia para las tormentas de la estación Yanacancha empleando los programas computacionales SPSS 18, SPLUS 8 y TANAGRA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales, equipos, y métodos:

Materiales y equipos

- Datos de las precipitaciones de la estación meteorológica de Yanacancha de los años 2001 a 2009.
- Software: SPSS 18, SPLUS 8 y TANAGRA

Métodos

- Se recolectó los datos de las precipitaciones de 5 minutos y una hora de duración de la estación meteorológica de Yanacancha, correspondiente al período 2001 al 2009.
- Con los datos de las precipitaciones de 5 minutos y una hora de duración de la estación Yanacancha, mediante diferencias finitas discretas se halló las alturas de precipitación

RESULTADOS

Según la clasificación realizada por Martínez (2005), las precipitaciones máximas en la estación meteorológica Yanacancha (Huari – Ancash – Perú) corresponden a precipitaciones fuertes, porque la intensidad media anual de una hora de duración es 11.11 mm/h mayor que 7.5 mm/h.

Las tormentas máximas no ocurren en horas fijas, con mayor probabilidad ocurren en las mañanas de 9 a 10 hrs. y en las tardes de 15 a 17 hrs.

Las intensidades y duraciones de las tormentas registradas durante los años 2001 a 2009 en la estación de Yanacancha se indican en la tabla 2:

Tabla 2. Intensidades (mm/h) y duraciones (min) de las tormentas en la estación meteorológica Yanacancha

Año	Duración								
	5	10	30	60	120	240	480	960	1440
2001	72,3	44,2	20,3	9,1	7,5	4,4	2,3	1,6	1,3
2002	73,9	45,2	20,7	10,3	7,0	5,9	3,9	2,0	1,3
2003	61,7	37,7	17,3	10,0	6,9	3,7	2,0	1,3	1,1
2004	62,4	38,1	17,5	11,9	6,2	3,1	2,5	1,6	1,1
2007	64,7	39,6	18,2	9,8	6,9	4,2	2,2	1,5	1,2
2008	79,7	48,7	22,4	13,9	9,1	6,0	3,0	1,6	1,4
2009	66,0	40,4	18,5	12,8	9,1	4,8	2,8	1,5	1,2
Media	68,65	42,00	19,27	11,11	7,51	4,58	2,68	1,58	1,24
D.estándar	6,75	4,13	1,90	1,78	1,15	1,08	0,63	0,22	0,12

Las intensidades de las precipitaciones para cada duración se ajustan mejor a las distribuciones que se indica en la tabla 3:

Tabla 3. Distribución de probabilidades empleadas para ajustar las intensidades de las tormentas en la estación meteorológica Yanacancha.

Duración	Distribución de probabilidades	Nivel de significancia
5	Gumbel	5%
10	Log Pearson III	5%
30	Gamma 3	5%
60	Log normal 3	5%
120	Log Pearson III	5%
240	Log normal 2	5%
480	Log Pearson III	5%
960	Gumbel	5%
1440	Log normal 2	5%

En la tabla 4 se indica las intensidades, duraciones y periodos de retorno de las tormentas ocurridas en la estación de Yanacancha (Huari – Ancash – Perú).

Tabla 4. Intensidades (mm/h), duraciones (min) y periodos de retorno (años) de las tormentas en la estación meteorológica Yanacancha, periodo 2001 – 2009.

Período retorno	Duración								
	5	10	30	60	120	240	480	960	1440
2	67,60	41,50	19,20	10,82	7,35	4,48	2,53	1,55	1,22
5	73,50	45,20	21,07	12,39	8,39	5,47	3,11	1,74	1,32
10	77,50	47,50	22,10	13,43	9,07	6,08	3,53	1,86	1,37
25	82,50	50,30	23,30	14,74	9,92	6,80	3,61	2,02	1,43
50	86,20	52,30	24,05	15,72	10,55	7,31	3,86	2,07	1,47
100	89,20	54,30	24,78	16,68	11,18	7,81	4,10	2,16	1,51
500	98,30	58,70	26,32	18,92	12,67	8,91	4,65	2,36	1,59

Los modelos de intensidad – duración y frecuencia (IDF) para las tormentas generadas en la estación meteorológica de Yanacancha son:

a) Modelo tipo Organización Meteorológica Mundial

$$I_{D,T} = \frac{167.16 + 13.998(\ln(T))}{(D - 0.707)^{0.651}}$$

$R^2 = 0.999$

Donde:

- I = Intensidad de la tormenta (mm/h)
- T = Período de retorno (años)
- D = Duración de la tormenta (min)

b) Modelo tipo Wenzel

$$I_{D,T} = \frac{157.18T^{0.0644}}{D^{0.637} - 0.417}$$

$R^2 = 0.999$

Donde:

- I = Intensidad de la tormenta (mm/h)
- T = Período de retorno (años)
- D = Duración de la tormenta (min)

c) Modelo tipo DemetrisKoutsoyiannis

$$I_{D,T} = \frac{170.24 - 13.35 \left(\ln \left(- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right)}{(D - 0.707)^{0.651}}$$

$R^2 = 0.999$

Donde:

- I = Intensidad de la tormenta (mm/h)
- T = Período de retorno (años)
- D = Duración de la tormenta (min)

d) Modelo de Tomarr

$$I_{D,T} = 0.1464 \left(\frac{P_{24,T}}{D^{0.6919}} \right) (46.666 + \ln(T))$$

Donde:

- $R^2 = 0.999$
- $I_{D,T}$ = Intensidad máxima anual (mm) de duración D (min) y período de retorno T (años)
- D = Duración de la lluvia (min)
- $P_{24,T}$ = Precipitación máxima anual de 24 horas de duración (mm) y período de retorno T (años).

DISCUSIÓN

Las precipitaciones máximas estudiadas en la estación de Yanacancha corresponden a precipitaciones fuertes porque la intensidad media de una hora de duración es 11,11 mm/h mayor que 7,5 mm/h, según el criterio de clasificación establecido por (Martínez, 2005).

El período de análisis para generar los modelos IDF para las tormentas en la estación meteorológica Yanacancha corresponde a los años 2001 a 2009. En este período ocurrió un evento extremo del fenómeno El Niño en el año 2004.

Las tormentas máximas no ocurren en horas fijas, pero con mayor probabilidad ocurren en las mañanas de 9 a 10 hrs. y en las tardes de 15 a 17 hrs. en la estación meteorológica de Yanacancha.

Las intensidades medias máximas anuales de las precipitaciones en la estación de Yanacancha para 5 y 10 minutos de duración son 68,65 mm/h y 41,00 mm/h respectivamente.

Los modelos de intensidad – duración y frecuencia (IDF) para las tormentas generadas en la estación meteorológica Yanacancha son las del tipo Organización Meteorológica Mundial, Wenzel, Demetris Koutsoyiannis y Tomarr.

Los modelos de intensidad – duración y frecuencia (IDF) tipo Organización Meteorológica Mundial y Demetris Koutsoyiannis son válidos para tiempos de duración de la tormenta mayores de 0,707 minutos, el modelo IDF de Wenzel es válido para duraciones de la tormenta mayores de 0,253 minutos y el modelo IDF de Tomarr es válido para duraciones de la tormenta mayores de cero minutos. Todos los modelos tienen alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0,999$) el cual indica que las intensidades de las tormentas en la estación Meteorológica Yanacancha están explicadas en 99.9% por la duración y período de retorno.

Según (Martínez, 2005) el tiempo de concentración mínima en cuencas urbanas no debe ser menor a 10 minutos. Esta consideración es importante tenerla en cuenta cuando se haga uso de los modelos IDF generados.

CONCLUSIONES

1. Las precipitaciones en la estación meteorológica Yanacancha (San Marcos, Huari, Ancash, Perú) son fuertes con intensidad media máxima anual igual a 11,11 mm/h.

2. Las tormentas máximas en la estación meteorológica Yanacancha no ocurren en horas fijas, pero con mayor probabilidad ocurren en las mañanas de 9 a 10 hrs. y en las tardes de 15 a 17 hrs.
3. Las intensidades medias máximas anuales de las precipitaciones en la estación meteorológica Yanacancha para 5 y 10 minutos de duración son 68,65 mm/h y 41,00 mm/h respectivamente.
4. Los modelos de intensidad más significativos que se generaron son los del tipo Organización Meteorológica Mundial, Wenzel, Demetris Koutsoyiannis y de Tomarr. Todos los modelos generados tienen la misma capacidad predictiva; por su simplicidad de generación y utilización se recomienda usar los modelos de la Organización Meteorológica Mundial, Wenzel y de Tomarr.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento sincero a la Compañía Minera Antamina S.A., por los datos de las precipitaciones correspondientes a la estación meteorológica Yanacancha.

Asimismo mis agradecimientos a Adelina Ángeles Felipe por la bibliografía proporcionada desde Estados Unidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borga, Marco. 2005. Regional rainfall depth – duration – frequency equations for an Alpine Region. <http://www.springerlink>.
- Chow, Ven Te. 1994. Hidrología aplicada. Colombia: Editorial McGraw Hill.
- Martínez, Eduardo. 2005. Hidrología práctica. España. Editorial del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- McCuen, Richard. 2005. Hydrologic analysis and design. New Jersey. Editorial Prentice Hall.
- Minh, Nhat. 2006. Establishment of intensity – duration-frequency curves for precipitation in the Monsoon area of Vietnam. <http://www.clpri.kyoto-u.ac.jp>.

Correspondencia:

Toribio Marcos Reyes Rodríguez
Urb. Villasol Mz. G – Lt. A3 – Huaraz
tmreyes2@hotmail.com