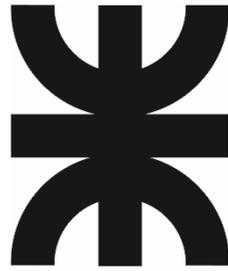


Estudio de Tormentas de Diseño en Cuencas Extensas de la Provincia de Entre Ríos



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL PARANÁ

ESTUDIO DE TORMENTAS DE DISEÑO EN CUENCAS EXTENSAS DE LA
PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

Estudio de tormentas de diseño en Cuenca Extensas de la provincia de Entre Ríos /

Patricia Viviana López ... [et al.]. - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecNe, 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-42-2

1. Hidrología. 2. Cuenca Hidrológica. 3. Entre Ríos. I. López, Patricia Viviana.

CDD 551.48



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Héctor Eduardo Aiassa

Vicerrector: Ing. Haroldo Avetta

Secretaría Académica: Ing. Liliانا Raquel Cuenca Pletsch

Secretaría Ciencia, Tecnología y Posgrado: Dr. Horacio Leone

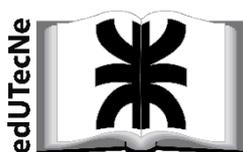


Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Paraná

Decano: Prof. Mg. Ing. Alejandro Carrere

Vicedecano: Ing. Alejandro Jerichau

Secretario de Ciencia y Tecnología y Posgrado: Ing. Marcelo Laorden



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando H. Cejas

Área de edición y publicación en papel: Carlos Busqued

Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía, Ambiente: Dr. Jaime Moragues.

Queda hecho el depósito que marca la Ley Nº 11.723

© edUTecNe, 2020

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires, República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



ISBN 978-987-4998-42-2



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Paraná

Proyecto de Investigación PID 3882 "Estudio de tormentas de diseño en cuencas extensas de la provincia de Entre Ríos"

EQUIPO DE TRABAJO

Director de Proyecto:

Ing. Patricia V. López

Docentes Investigadores:

Mg. Ing. Rodolfo Sato

Mg. Ing. María Inés Mastaglia

Ing. Natalia Cattaneo

Ing. Roberto Masola

Becarios Graduados:

Ing. Vanesa Giménez

Ing. Mayra D. Collante Wojcicki

Ing. Sabina Bruno

Ing. Andrea Margasin

Becarios Alumnos:

Sofia A. Morley

Agustina Erbeta

Victor Graziadio

Gonzalo Villanueva

CONTENIDO

EQUIPO DE TRABAJO	3
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN	11
1 INTRODUCCIÓN.....	12
2 AREA DE ESTUDIO	16
2.1 CUENCAS HIDROGRÁFICAS ANALIZADAS	16
2.1.1 CUENCA DEL ARROYO FELICIANO.....	17
2.1.2 CUENCA DEL RÍO GUALEGUAYCHÚ	18
2.1.3 CUENCA DEL RÍO GUALEGUAY.....	19
2.1.4 CUENCA DEL ARROYO LAS CONCHAS.....	20
2.1.5 CUENCA DEL ARROYO NOGOYÁ	22
2.2 SISTEMA HÍDRICO.....	23
2.3 REGIÓN GEOGRÁFICA	24
2.4 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	25
2.4.1 PRECIPITACIÓN.....	25
2.4.2 TEMPERATURAS.....	26
3 METODOLOGÍA.....	29
3.1 DESARROLLO METODOLÓGICO	29
3.2 RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA	30
3.2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y ANÁLISIS DE CALIDAD.....	30
3.2.2 GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL	35
3.2.3 CATEGORIZACIÓN DE LAS ESTACIONES.....	35
3.2.3.1 SISTEMA DE CATEGORIZACIÓN	36
3.2.3.2 ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS	37
3.2.4 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES	38
3.2.4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN	38
3.2.4.2 REDES PLUVIOMÉTRICAS CONFORMADAS	39

3.2.4.2.1	Red pluviométrica Cuenca Arroyo Feliciano	39
3.2.4.2.2	Red pluviométrica Cuenca río Gualeguay	40
3.2.4.2.3	Red pluviométrica Cuenca río Gualeguaychú	40
3.2.4.2.4	Red pluviométrica Cuenca Arroyo Las Conchas	41
3.2.4.2.5	Red pluviométrica Cuenca Arroyo Nogoyá	42
3.2.4.3	DENSIDAD MEDIA DE LAS REDES CONFORMADAS	42
3.2.5	RELLENAMIENTO DE LAS SERIES	43
3.2.5.1	MÉTODO IDW (INVERSE-DISTANCE-WEIGHTED)	44
3.2.5.2	PROCEDIMIENTO DE COMPLETAMIENTO	45
3.2.6	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LAS SERIES GENERADAS	48
3.3	SERIES DE PRECIPITACIÓN MEDIA AREAL	51
3.3.1	DELIMITACIÓN DE SUBCUENCAS	51
3.3.1.1	SUBCUENCAS ARROYO FELICIANO	52
3.3.1.2	SUBCUENCAS RÍO GUALEGUAYCHÚ	52
3.3.1.3	SUBCUENCAS RÍO GUALEGUAY	53
3.3.1.4	SUBCUENCAS DEL ARROYO LAS CONCHAS	54
3.3.1.5	SUBCUENCAS DEL ARROYO NOGOYÁ	55
3.3.2	CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA AREAL	56
3.3.3	DURACIONES DE LAS PRECIPITACIONES	62
3.3.3.1	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	62
3.3.3.1.1	Ecuaciones derivadas de las investigaciones de Graf <i>et al.</i> 1982	63
3.3.3.1.2	Fórmula de Kirpich	64
3.3.3.2	DURACIONES ADOPTADAS	65
3.4	ANÁLISIS DE FRECUENCIA	66
3.5	CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IDF	67
3.6	CURVAS DE DECAIMIENTO AREAL	68
4	RESULTADOS	71
4.1	CURVAS IDF	71
4.1.1	CUENCA ARROYO FELICIANO	71
4.1.1.1	CIERRE EN RUTA PROVINCIAL N°2 (PASO CORREA)	71
4.1.1.2	CIERRE EN RUTA PROVINCIAL N°6 (PASO MEDINA)	72
4.1.1.3	CIERRE EN DESEMBOCADURA	73
4.1.2	CUENCA RÍO GUALEGUAYCHÚ	74

4.1.2.1	CIERRE EN RUTA PROVINCIAL N°39	74
4.1.2.2	CIERRE EN RUTA NACIONAL N°130	75
4.1.2.3	CIERRE EN CIUDAD DE GUALEGUAYCHÚ	76
4.1.3	CUENCA RÍO GUALEGUAY	77
4.1.3.1	CIERRE EN PASO ALONSO	77
4.1.3.2	CIERRE EN ROSARIO DEL TALA	78
4.1.3.3	CIERRE EN VILLAGUAY	79
4.1.3.4	CIERRE EN PASO DUARTE	80
4.1.3.5	CIERRE EN ARROYO GUERRERO	81
4.1.3.6	CIERRE EN CAÑADA BERMUDEZ	82
4.1.3.7	CIERRE EN DESEMBOCADURA	83
4.1.4	CUENCA ARROYO LAS CONCHAS	84
4.1.4.1	CIERRE RUTA PROVINCIAL N°18	84
4.1.4.2	CIERRE RUTA NACIONAL N°12	85
4.1.4.3	CIERRE EN DESEMBOCADURA	86
4.1.5	CUENCA ARROYO NOGOYÁ.....	87
4.1.5.1	CIERRE RUTA PROVINCIAL N°34	87
4.1.5.2	CIERRE RUTA NACIONAL N°12	88
4.1.5.3	CIERRE EN RUTA PROVINCIAL N°11	89
4.2	CURVAS DE ABATIMIENTO AREAL	90
4.2.1	CUENCA ARROYO FELICIANO.....	90
4.2.2	CUENCA RIO GUALEGUAYCHÚ.....	93
4.2.3	CUENCA RIO GUALEGUAY	96
4.2.4	CUENCA ARROYO LAS CONCHAS	99
4.2.5	CUENCA ARROYO NOGOYÁ.....	102
5	CONCLUSIONES.....	109
5.1	BASE DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS ESPACIAL	109
5.2	CURVAS DE DECAIMIENTO AREAL.....	110
REFERENCIAS		111
ANEXOS		117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Desborde arroyo Feliciano sobre Ruta Nacional N°12. Abril 2016.....	12
Figura 1.2- Desborde río Gualeguaychú. Diciembre 2012.....	12
Figura 1.3: Desborde río Gualeguay. Abril 2016	13
Figura 1.4: Crecida arroyo Las Conchas. Ruta Nacional N°12. Marzo 2007	13
Figura 1.5: Crecida arroyo Nogoyá. Ruta Nacional N°11. Febrero 2016.....	13
Figura 2.1: Cuencas extensas estudiadas.....	16
Figura 2.2: Distribución territorial cuenca del arroyo Feliciano	17
Figura 2.3: Vista aguas abajo del arroyo Feliciano a la altura de Paso Medina	17
Figura 2.4: Distribución territorial cuenca del río Gualeguaychú	18
Figura 2.5: Vista aguas abajo del río Gualeguaychú en cruce Ruta Nacional N° 136	18
Figura 2.7: Distribución territorial cuenca del río Gualeguay	20
Figura 2.8: Distribución territorial cuenca del arroyo Las Conchas.....	21
Figura 2.9: Vista hacia aguas abajo del arroyo Las Conchas en cruce con Ruta Nacional N° 12 (La Picada).....	21
Figura 2.10: Distribución territorial cuenca del arroyo Nogoyá	22
Figura 2.11: Vista aguas abajo del arroyo Nogoyá en el cruce con Ruta Nacional N° 11.	22
Figura 2.12:- Cuenca del Plata.....	23
Figura 2.13: Región Pampeana	24
Figura 2.14: Precipitación Media Anual (Atlas Climático Digital – INTA 2010).....	26
Figura 2.15: Temperatura Media Anual (Atlas Climático Digital - INTA 2010).	27
Figura 2.16: Distribución de temperaturas medias en la ciudad de Paraná.....	28

Figura 3.1: Red de estaciones de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos.	31
Figura 3.2: Ubicación de estaciones hidrológicas de la provincia de Entre Ríos.	33
Figura 3.3: Análisis de la continuidad de los registros.....	34
Figura 3.4: Categorización de la red pluviométrica provincial.....	38
Figura 3.5: Estaciones pluviométricas seleccionadas cuenca del arroyo Feliciano.	39
Figura 3.6: Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Gualeguay .40	
Figura 3.7: Red de estaciones seleccionadas Cuenca del río Gualeguaychú.....	41
Figura 3.8: Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del arroyo Las Conchas.....	41
Figura 3.9: Red de estaciones seleccionadas cuenca del arroyo Nogoyá.	42
Figura 3.10: Ubicación de pluviómetros para relleno de datos.....	44
Figura 3.11: Serie del pluviómetro Banderas con faltante de datos.	46
Figura 3.12: Ubicación de pluviómetros para relleno de datos.....	47
Figura 3.13: Serie Completada Estación Banderas.....	48
Figura 3.14: Método de la Curva de doble acumulación (Aparicio, 1997).....	49
Figura 3.15: Área de influencia de estaciones confiables cuenca del arroyo Feliciano.50	
Figura 3.16: Contraste Estación 102 - Banderas.	51
Figura 3.17: Delimitación de subcuencas del arroyo Feliciano.....	52
Figura 3.18: Delimitación de subcuencas del río Gualeguaychú.....	53
Figura 3.19: Delimitación de subcuencas del río Gualeguay.....	54
Figura 3.20: Delimitación de subcuencas del Arroyo Las Conchas.....	54
Figura 3.21: Delimitación de subcuencas del Arroyo Nogoyá	55

Figura 3.22: Ven Te Chow (1994). "Cálculo de la lluvia promedio sobre área por el método de Thiessen". Hidrología aplicada.....	57
Figura 3.23: Subcuencas arroyo Feliciano y Polígonos de Thiessen.....	58
Figura 3.24: Subcuencas río Gualeguaychú y Polígonos de Thiessen.....	59
Figura 3.25: Subcuencas río Gualeguay y Polígonos de Thiessen.....	60
Figura 3.26: Subcuencas arroyo Las Conchas y Polígonos de Thiessen.....	61
Figura 3.27: Subcuencas arroyo Nogoyá y Polígonos de Thiessen.....	62
Figura 3.28: Zamanillo et al (2008). "Relaciones RT de los pluviógrafos provinciales". Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Criterios de densidad de la OMM.....	36
Tabla 3.2- Densidad media de las redes pluviométricas adoptadas.....	43
Tabla 3.3: Distancias de pluviómetros cercanos a Banderas.....	47
Tabla 3.4- Parámetros físicos de las subcuencas	56
Tabla 3.5: Tiempos de concentración de las subcuencas.....	65
Tabla 3.6: Relación entre la precipitación de 24 y n horas de duración	68

RESUMEN

En la provincia de Entre Ríos existen más de 200 estaciones pluviométricas distribuidas en 10 cuencas hidrográficas y se efectúan lecturas diarias desde el año 1934. En dichas cuencas han ocurrido en los últimos años inundaciones con daños importantes como consecuencia de las intensas precipitaciones.

En este trabajo se estudiaron las tormentas de diseño para distintas recurrencias en las cinco cuencas más extensas de la provincia, en la cuales, por su extensión, la distribución areal y temporal de la lluvia adquiere importancia en la determinación del caudal generado, no siendo posible caracterizar la lluvia en toda su extensión con la información de una sola estación pluviométrica.

Empleando los datos de distintas estaciones pluviométricas, evaluando un período de registros de al menos 30 años y utilizando las herramientas brindadas por los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se propuso el empleo de pluviómetros ficticios para la generación de datos de precipitación media diaria areal que abarcaran distintas áreas de interés. Con la información así obtenida se estimaron curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) mediante análisis de frecuencia de las series de Precipitaciones Medias Areales Máximas Anuales (PMAMA) y, además, curvas de decaimiento areal regionales.

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han producido graves inundaciones en la provincia de Entre Ríos que han significado importantes pérdidas por campos inundados, cosechas perdidas, mortandad de animales y daños generales en la infraestructura vial.

La Figura 1.1 a Figura 1.5 muestran las inundaciones generadas por cinco de los cursos de agua de mayor importancia en la provincia de Entre Ríos debido a las intensas y sostenidas precipitaciones registradas en los últimos años. Las mayores consecuencias se produjeron en los centros urbanos asentados cerca de la ribera de los cauces dejando barrios completos bajo el agua y cientos de familias evacuadas. Además del anegamiento de los principales enlaces viales dejando, en muchas ocasiones, las ciudades aisladas.



Figura 1.1: Desborde arroyo Feliciano sobre Ruta Nacional N°12. Abril 2016



Figura 1.2- Desborde río Gualeguaychú. Diciembre 2012



Figura 1.3: Desborde río Gualeguay. Abril 2016



Figura 1.4: Crecida arroyo Las Conchas. Ruta Nacional N°12. Marzo 2007



Figura 1.5: Crecida arroyo Nogoyá. Ruta Nacional N°11. Febrero 2016

Ante esta realidad el conocimiento y análisis de la información de precipitaciones es una base imprescindible para la planificación territorial, el diseño y la operación de obras de infraestructura relacionadas con los recursos hídricos (Tucci Morelli, 2007).

Los caudales de diseño de una obra hidráulica o aquellos considerados para un análisis de áreas inundables, en la mayor parte de los casos, deben ser estimados mediante modelos de transformación de lluvia-caudal, al menos que se cuente con una estación de aforos con un registro histórico lo suficientemente extenso para permitir un análisis de frecuencia.

La caracterización de la tormenta de diseño a ingresar a los modelos incluye distintos aspectos como: la cuantificación de la precipitación ocurrida, su intensidad, su duración, el patrón de distribución temporal, su distribución espacial y su probabilidad de ocurrencia, o, su inversa, el período de retorno o recurrencia (Zamanillo *et al.*, 2008).

En caso de cuencas menores o de mediana extensión, suele considerarse que la distribución de la precipitación es uniforme en toda la cuenca y se utilizan datos de lluvia de una estación meteorológica cercana asumiendo que la información puntual que se obtiene en esta es adecuada para el análisis de este tipo de cuencas. La estimación de la precipitación a partir de la relación Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para la estación meteorológica considerada es suficiente para el diseño hidrológico de este tipo de cuencas. Para cuencas mayores, superficie superior a 100 km², esta suposición de uniformidad de la lluvia deja de ser válida en mayor medida cuanto mayor es la extensión de la cuenca.

El problema radica en los orígenes físicos de los máximos analizados, ya que los máximos puntuales muchas veces se deben a procesos convectivos que abarcan porciones reducidas del sistema con valores desmesurados del decaimiento areal. Por el contrario, los máximos anuales de intensidad media areal suelen originarse debido a fenómenos convectivos a mesoescala que cubren amplios sectores con

intensidades semejantes y abatimientos areales reducidos. Estos últimos fenómenos suelen ser los responsables de grandes crecidas cuya evaluación es de interés en el diseño hidrológico (Caamaño Nelli *et al.*, 2011).

La provincia de Entre Ríos presenta cuencas extensas donde en cuyos estudios debería considerarse la distribución areal de las precipitaciones para la determinación de una tormenta de diseño y de este modo obtener mayor certidumbre en el diseño de obras hidráulicas (Chow *et al.*, 2000).

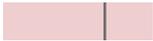
La provincia cuenta con curvas IDF (Zamanillo *et al.*, 2008) obtenidas a partir del procesamiento de los datos de una determinada estación meteorológica y que constituyen una información valiosa para el estudio de pequeñas y medianas cuencas pero como se describiera de uso limitado en el caso de cuencas extensas.

En este sentido, y considerando que se cuenta con una importante red pluviométrica provincial, ha sido de interés desarrollar un análisis de los datos de precipitación registrados y generar la información que permita definir precipitaciones de diseño que considere la distribución espacial de la lluvia en la cuenca.

2 AREA DE ESTUDIO

2.1 CUENCAS HIDROGRÁFICAS ANALIZADAS

El estudio se enfoca en las cinco cuencas más extensas de la provincia de Entre Ríos (**Figura 2.1**):

Cuenca del arroyo Feliciano	
Cuenca del río Gualeguaychú	
Cuenca del río Gualeguay	
Cuenca del arroyo Las Conchas	
Cuenca del arroyo Nogoyá.	

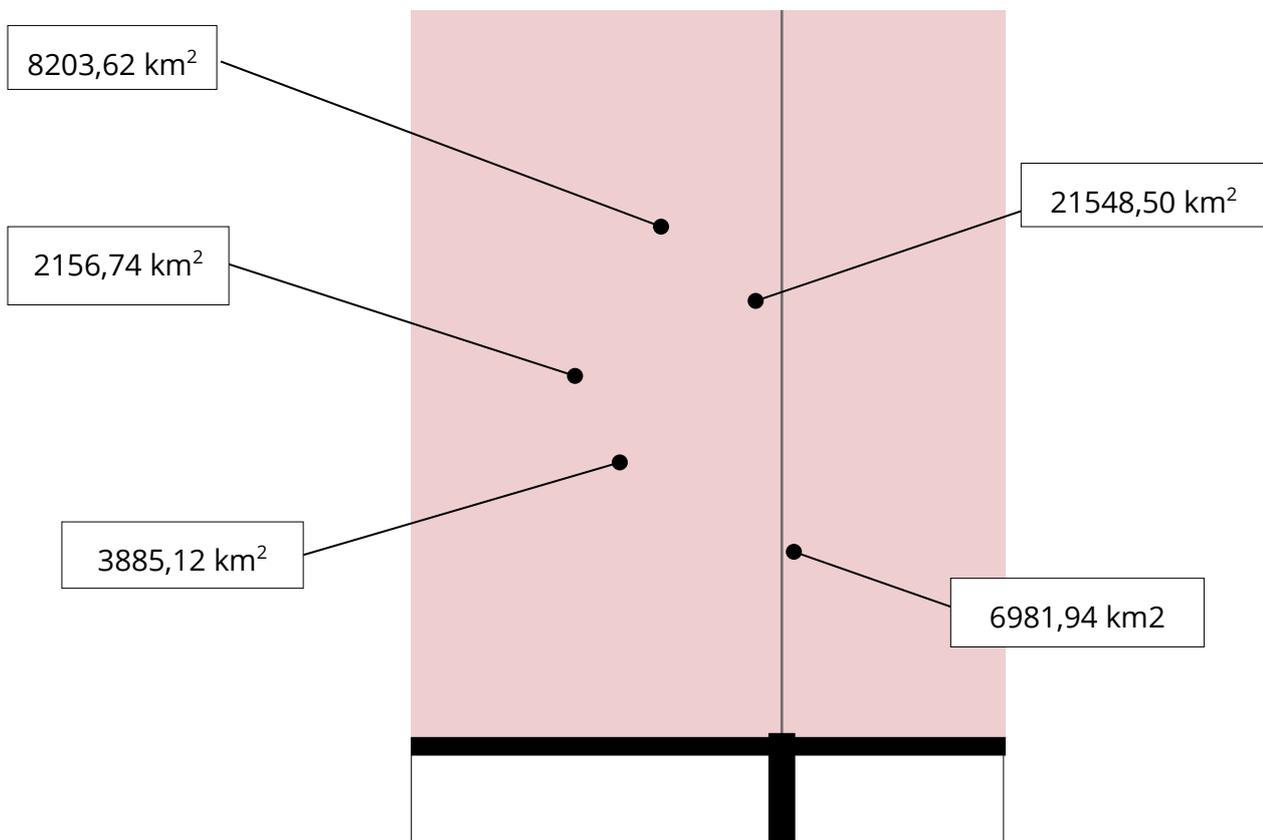


Figura 2.1: Cuencas extensas estudiadas

2.1.1 CUENCA DEL ARROYO FELICIANO

La cuenca del arroyo Feliciano tiene sus nacientes en la loma del Mocoretá, entre los 58° 21' 11" de longitud Oeste y 30° 20' 37" de latitud Sur, y desemboca en Puerto Leguizamón, situado entre los 59° 51' 00" de longitud Sur y los 31° 06' 00" de latitud Oeste. Se extiende por tres departamentos entrerrianos: Federal, Feliciano y La Paz (**Figura 2.2**). Está conformada por muchos meandros cuyo perfil de costa tipo varía de barrancas abruptas y profundas a taludes suaves en pequeñas distancias. Tiene un solo afluente importante en el lado norte, el arroyo Estacas. Gran parte de esta cuenca está cubierta por montes naturales, con suelo de tipo Bruñeses y serios problemas de erosión (INTA - Gobierno de Entre Ríos, 1986). La **Figura 2.2**, ilustración de lo descrito en el presente párrafo, es una vista hacia aguas abajo del arroyo Feliciano a la altura del puente de Paso Medina sobre la Ruta Provincial N°6.

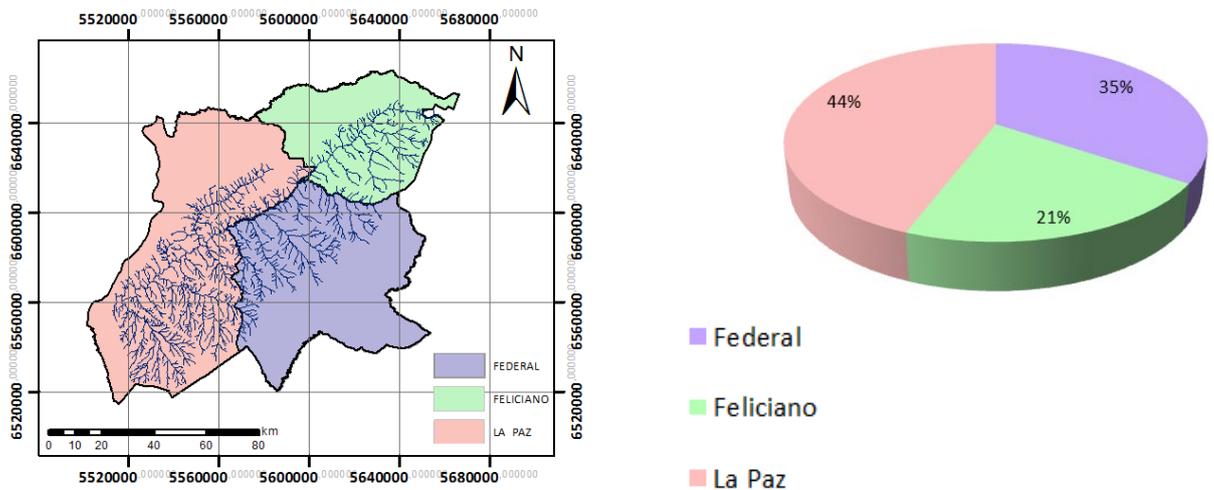


Figura 2.2: Distribución territorial cuenca del arroyo Feliciano



Figura 2.3: Vista aguas abajo del arroyo Feliciano a la altura de Paso Medina

2.1.2 CUENCA DEL RÍO GUALEGUAYCHÚ

La cuenca del río Gualeguaychú nace en la Lomada Grande entre los 58° 00" de longitud Oeste y los 31° 45' 00" de latitud Sur. Abarca los departamentos de Gualeguaychú, Uruguay y Colón (**Figura 2.4**). El curso se desarrolla próximo al límite este de la cuenca. Tiene mayores aportes de su margen derecha en donde éstos se caracterizan por ser anostamados y encajonados en su curso superior medio junto a los principales afluentes permanentes. En esta margen están los mayores afluentes: A. San Miguel, A. Santa Rosa, A. San Antonio, A. El Gato y A. Gualeyán. Sobre la margen izquierda, el río recibe aporte de arroyos más pequeños. El suelo del norte y centro de esta cuenca permite la siembra de arroz, mientras que hacia el sur es más variado su uso, ya sea agrícola, hortícola, forestal o ganadero (Provincia de Entre Ríos, 1988). La **Figura 2.5** es una vista hacia aguas abajo del río Gualeguaychú desde la Ruta Nacional N°136.

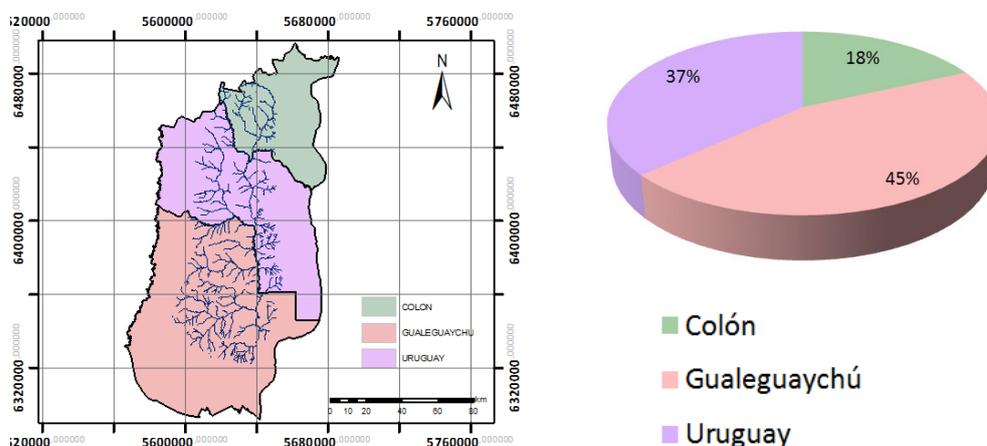


Figura 2.4: Distribución territorial cuenca del río Gualeguaychú



Figura 2.5: Vista aguas abajo del río Gualeguaychú en cruce Ruta Nacional N° 136

2.1.3 CUENCA DEL RÍO GUALEGUAY

El río Gualeguay es el río más importante de la provincia de Entre Ríos, nace al norte en el departamento de Federación, en la confluencia de las cuchillas Grande y de Montiel en los 58° 15' 20" de longitud Oeste y los 30° 40' 33' de latitud Sur. Se extiende de norte a sur cubriendo aproximadamente un 30% de la superficie provincial hasta desembocar en el delta del Paraná a los 59° 32' 3" de longitud Oeste y a los 33° 11' 58' de latitud Sur. Abarca por completo los departamentos Tala y Villaguay, gran parte de Federal y Gualeguay, además de áreas menores de Federación, La Paz, Paraná, Concordia, San Salvador, Uruguay, Nogoyá, Gualeguaychú e Islas de Ibicuy (**Figura 2.7**).



Figura 2.6- Vista aguas abajo del río Gualeguay en cruce con Ruta Nacional N°18.

El curso principal puede dividirse en cuatro tramos bien definidos: el tramo superior cuyo origen se encuentra en las nacientes del río hasta un paraje llamado El Quebracho, el curso medio, desde el paraje El Quebracho hasta la ciudad de Rosario del Tala, el curso inferior que se extiende de la ciudad de Rosario de Tala hasta la ciudad de Gualeguay y recibe un gran número de afluentes de poco caudal manteniendo la orientación de norte a sur y, por último el tramo final, desde Gualeguay hasta la desembocadura en el río Paraná. Este tramo se torna meandroso

debido al relieve, compuesto por una planicie de muy reducida pendiente y un lecho de suelos de deposición que la propia dinámica del río ha generado (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2010). La **Figura 2.7** es una vista hacia aguas abajo del río Gualeguay desde la Ruta Nacional N°18.



Figura 2.6- Vista aguas abajo del río Gualeguay en cruce con Ruta Nacional N°18.

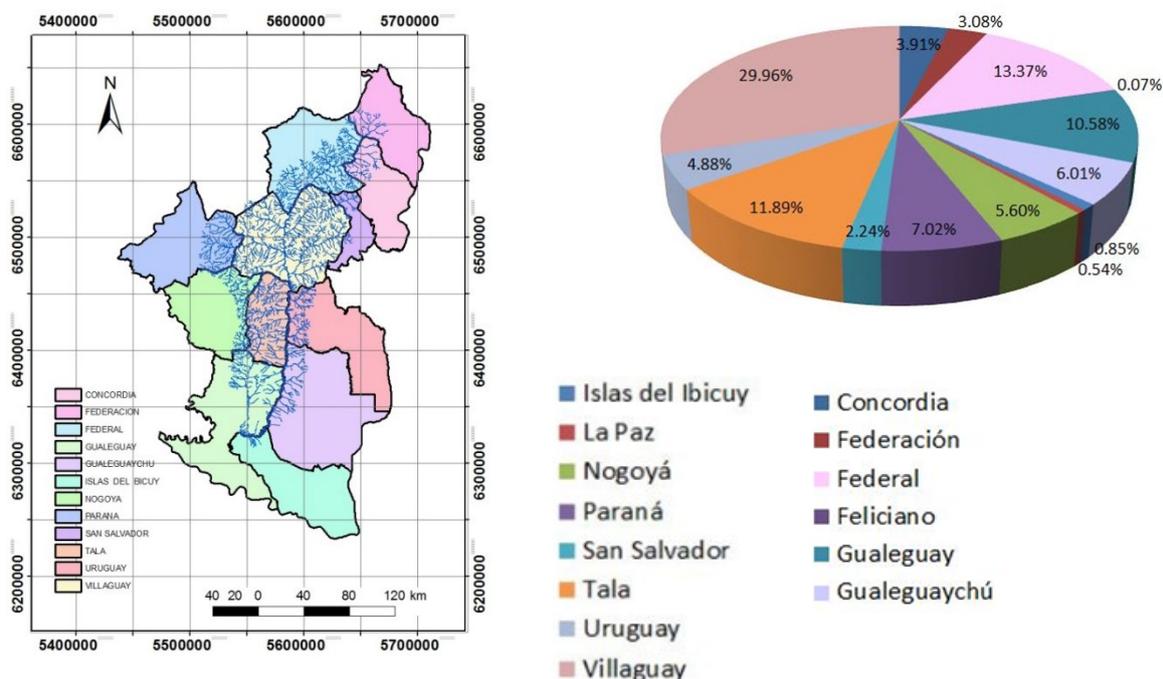


Figura 2.6: Distribución territorial cuenca del río Gualeguay

2.1.4 CUENCA DEL ARROYO LAS CONCHAS

La cuenca del arroyo Las Conchas se sitúa en los 59° 54' 21" de longitud oeste y los 31° 35' 55" de latitud Sur, abarca principalmente el departamento Paraná (**Figura 2.8**). Tiene como límite sur las lomadas más altas de la provincia y posee dos cursos principales permanentes: arroyos Espinillo y Quebracho. Estos cauces, con una

pendiente natural media a elevada, presentan en sus cursos zonas de meandros y tramos lineales, con afloramiento de calcáreo en algunas zonas y abundantes bancos de arena. La vertiente es de dirección este-oeste hasta la desembocadura en el río Paraná. Los suelos que la componen son del tipo brunizems y vertisoles con un grado de erosión moderada a severa en las nacientes. En el sector este de la cuenca existen zonas de monte natural y uso de la tierra para agricultura y ganadería. Una de las características climáticas que presenta esta cuenca, es que las precipitaciones crecen de Oeste a Este. La **Figura 2.6** es una vista hacia aguas abajo del arroyo Las Conchas en la localidad de La Picada.

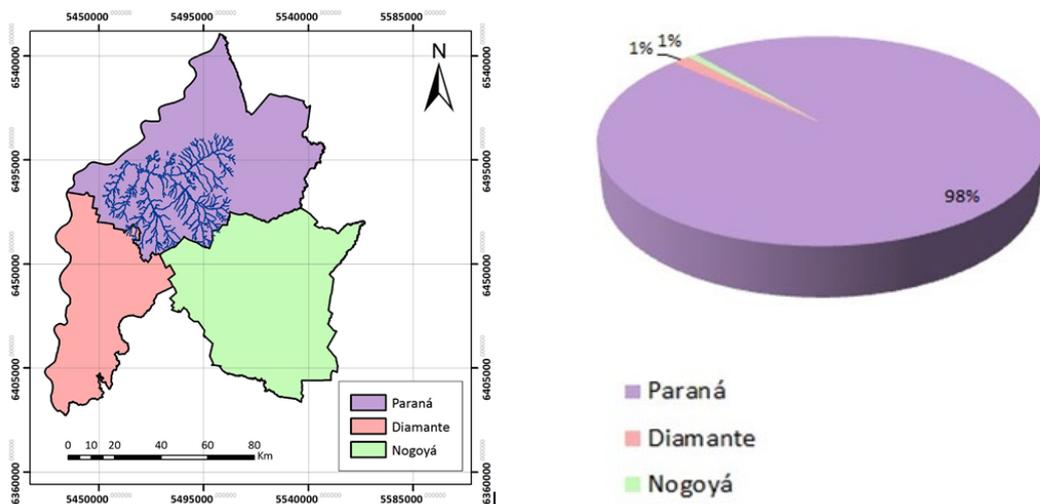


Figura 2.7: Distribución territorial cuenca del arroyo Las Conchas



Figura 2.8: Vista hacia aguas abajo del arroyo Las Conchas en cruce con Ruta Nacional N° 12 (La Picada)

2.1.5 CUENCA DEL ARROYO NOGOYÁ

El arroyo Nogoyá se forma al sur de la lomada o cuchilla de Montiel en el paraje llamado “Puntas del Nogoyá” en el departamento del mismo nombre. Sirve de demarcación entre los distritos Nogoyá y Crucecitas, Algarrobitos y Chiqueros, Montoya y Sauce para luego delimitar los departamentos Victoria y Gualeguay hasta su desembocadura en el riacho Victoria (**Figura 2.10**). Lo atraviesa la Ruta Nacional N° 12 en Paso el Quebracho y las Rutas Provinciales N° 11, N°34 y otras. La **Figura 2.11** es una vista hacia aguas abajo del arroyo Ngoyá a la altura de la Ruta Nacional N°11.

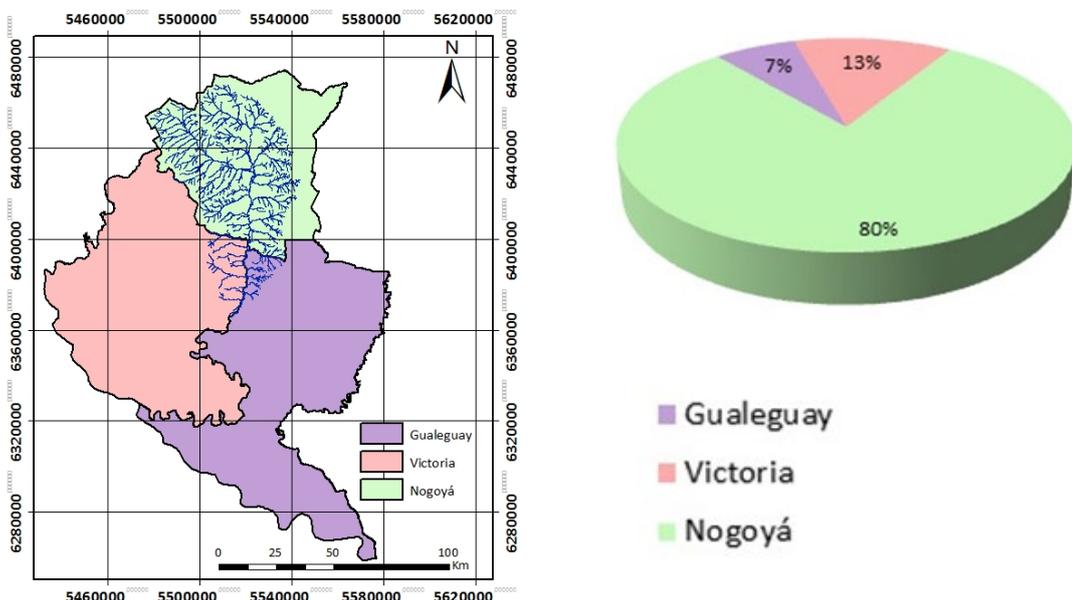


Figura 2.9: Distribución territorial cuenca del arroyo Nogoyá



Figura 2.10: Vista aguas abajo del arroyo Nogoyá en el cruce con Ruta Nacional N° 11.

2.2 SISTEMA HÍDRICO

Los ríos y arroyos de provincia de descargan a los ríos Paraná y Uruguay que integran, entre otros, el sistema del Plata (Figura 2.12) el que por su superficie ocupa el segundo lugar mundial y es el más importante del mundo por su potencialidad económica (Sarrailh, 1992). La cuenca del Plata abarca una gran diversidad climática y de formas de relieve que determinan variadas riquezas hídricas, cuya utilización es muy disputada por cada uno de los países. Los ríos del sistema se aprovechan fundamentalmente para generar energía eléctrica y como vías de navegación.

La vasta cuenca del Plata se divide en cuatro subcuencas:

- Del Río Paraná
- Del Río Uruguay
- Del Río Paraguay
- Del Río de la Plata



Figura 2.11:- Cuenca del Plata.

2.3 REGIÓN GEOGRÁFICA

La Provincia de Entre Ríos se encuentra en la región geográfica de la llanura pampeana (Figura 2.13). Esta región es el resultado de un proceso de elevación del bloque continental, que dio lugar a que los ríos profundizaran sus cuencas. Entre valle y valle se encuentran espacios más elevados, con aspecto de pequeñas lomadas sin superar los 100 m de altura que forman barrancas sobre los ríos principales. Dichos valles trasladan sus aguas al río Paraná y río Uruguay. Al sur de la provincia se observa una gran zona de sedimentación fluvial: el Delta.

Esta región es, desde el punto de vista económico, la más relevante y la más integrada del país. De ella y de la exportación de sus bienes depende en gran parte la economía. Por su extensión, las actividades se diferencian por las características climáticas. Entre las actividades mayormente realizadas: cultivo de cereales, oleaginosas, forrajeras, frutales y hortalizas. También se crían vacas, ovejas, porcinos, caballos y aves de corral.

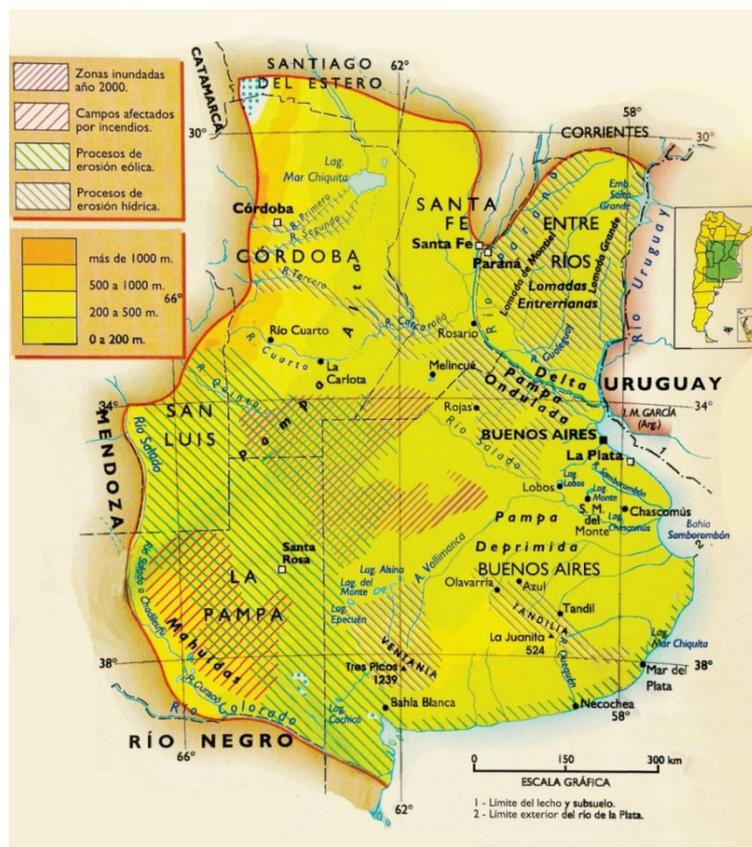


Figura 2.12: Región Pampeana

2.4 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

El clima y la vegetación de Entre Ríos son esencialmente subtropicales. La temperatura media anual es superior a los 19° C y el índice de pluviometría se sitúa por encima de los 1.000 mm anuales. La variación climática se produce en el sentido del norte al sur, distinguiéndose dos regiones climáticas bien definidas: una subtropical sin estación seca y otra cálida.

2.4.1 PRECIPITACIÓN

Las precipitaciones son abundantes y regulares durante todo el año. En la parte subtropical, las precipitaciones superan los 1.000 mm anuales y predominan los vientos norte, este y noreste, mientras que en los demás departamentos las lluvias son inferiores a 1000 mm anuales y circulan vientos del sur, sureste, noreste y pampero (Figura 2.14). Existen dos estaciones definidas: una lluviosa, de primavera-verano, y otra menos lluviosa, otoño-invierno. El ciclo pluvial comienza en julio, aumentando progresivamente las precipitaciones hacia el verano, y termina en junio.

La situación de déficit hídrico más crítica se encuadra, por orden de magnitud, en los meses de diciembre, febrero, enero y noviembre. Las localidades con mayores problemáticas registradas son Concordia, Victoria, Paraná, Villaguay y Concepción del Uruguay.

Los meses con mayor probabilidad de exceso de agua son: septiembre, junio, octubre, agosto, mayo y abril (Rojas y Saluso, 1987) (Sabattini, 1999).

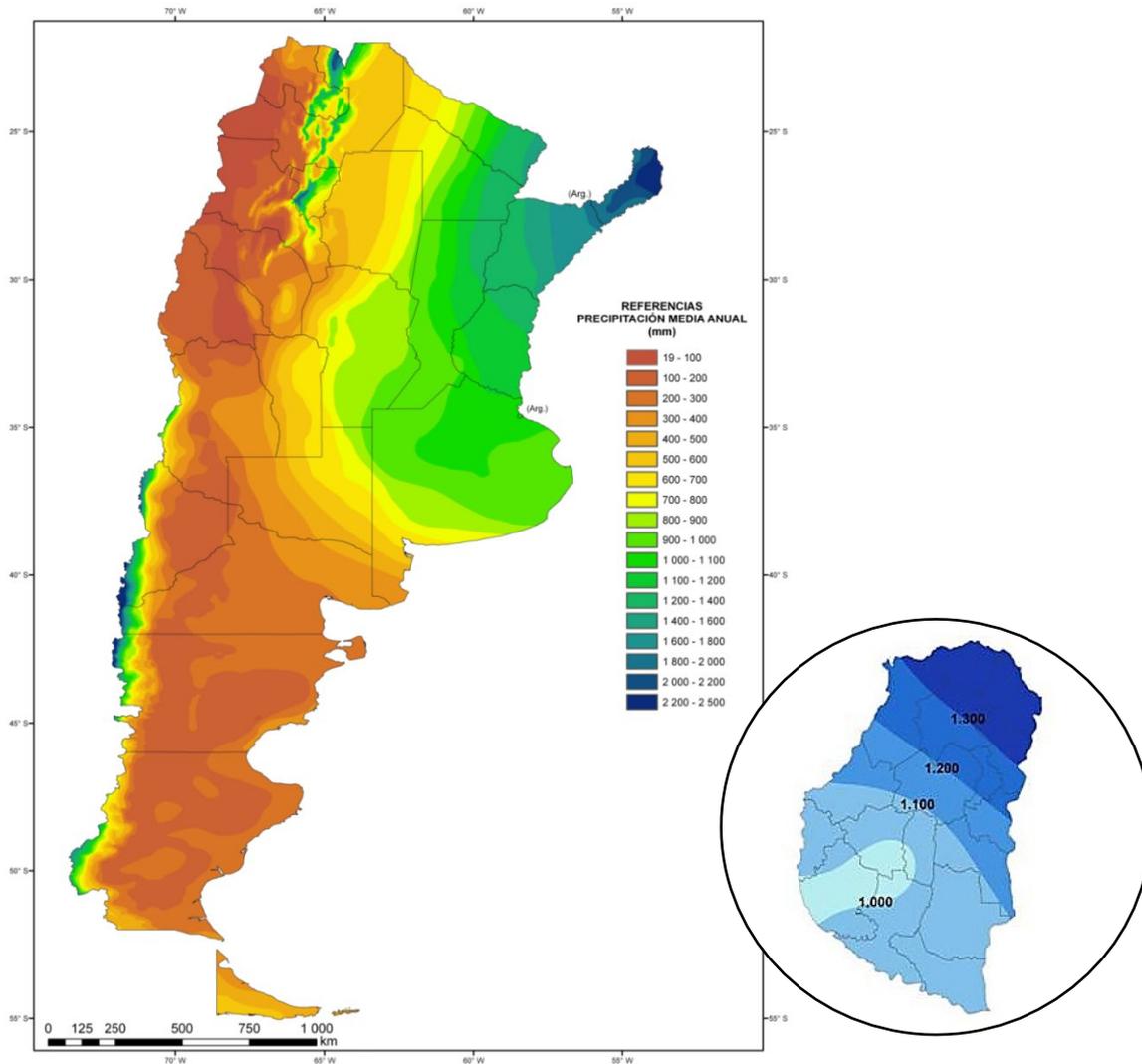


Figura 2.13: Precipitación Media Anual (Atlas Climático Digital – INTA 2010).

2.4.2 TEMPERATURAS

Las temperaturas de la provincia van aumentando del sur hacia el norte. Al sur de la provincia la temperatura es templada con estaciones bien marcadas. Inviernos frescos y veranos cálidos. Las lluvias son más comunes durante el verano. La parte subtropical, abarca los departamentos de Federación, Feliciano, Federal y norte de La Paz, donde la temperatura promedio en verano es de 26°C. El restante territorio posee temperaturas que van desde los 7°C a 10°C, en invierno, y de 19°C a 23°C en verano, con una amplitud media que varía entre los 10°C y 16°C.

En la Figura 2.15 se observan las variaciones anuales de la temperatura media a lo largo del territorio argentino. Se incluye en la Figura 2.16, a modo de ilustración

representativo de las tendencias provinciales, la distribución de temperaturas medias de la ciudad de Paraná.

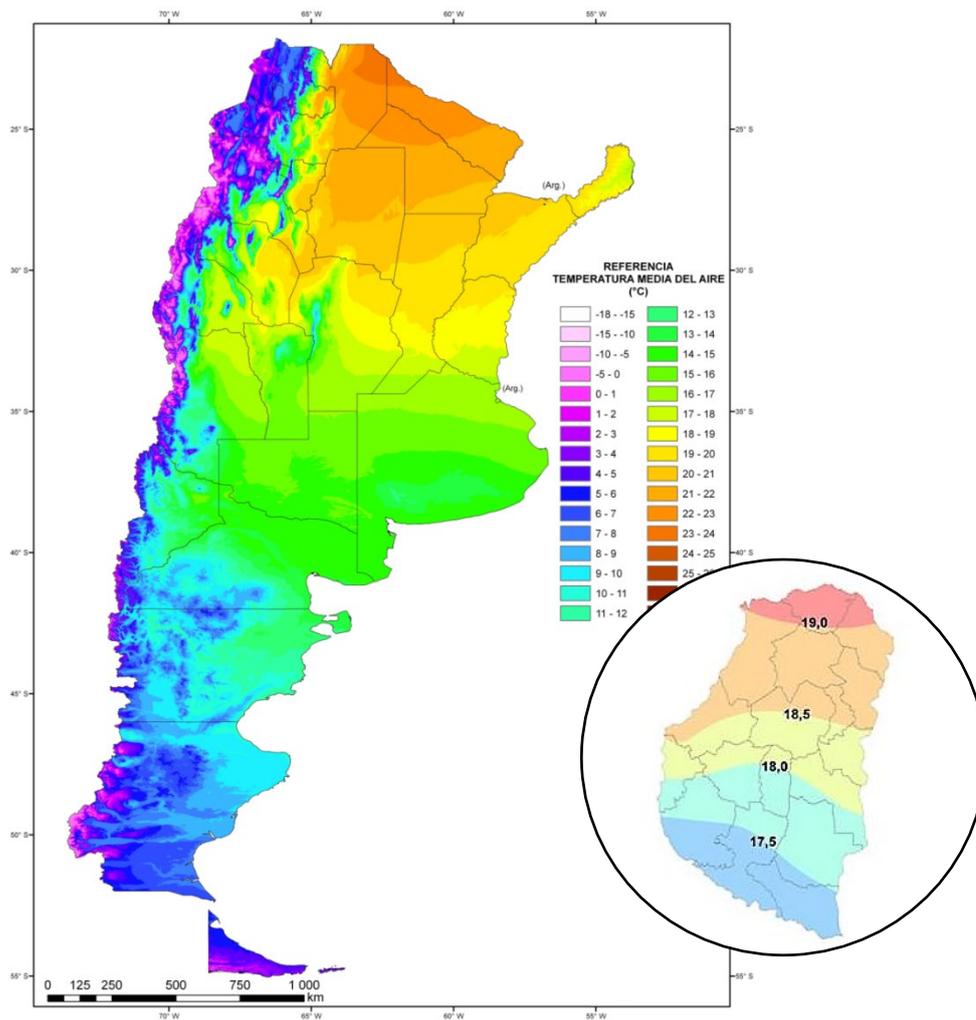


Figura 2.14: Temperatura Media Anual (Atlas Climático Digital - INTA 2010).

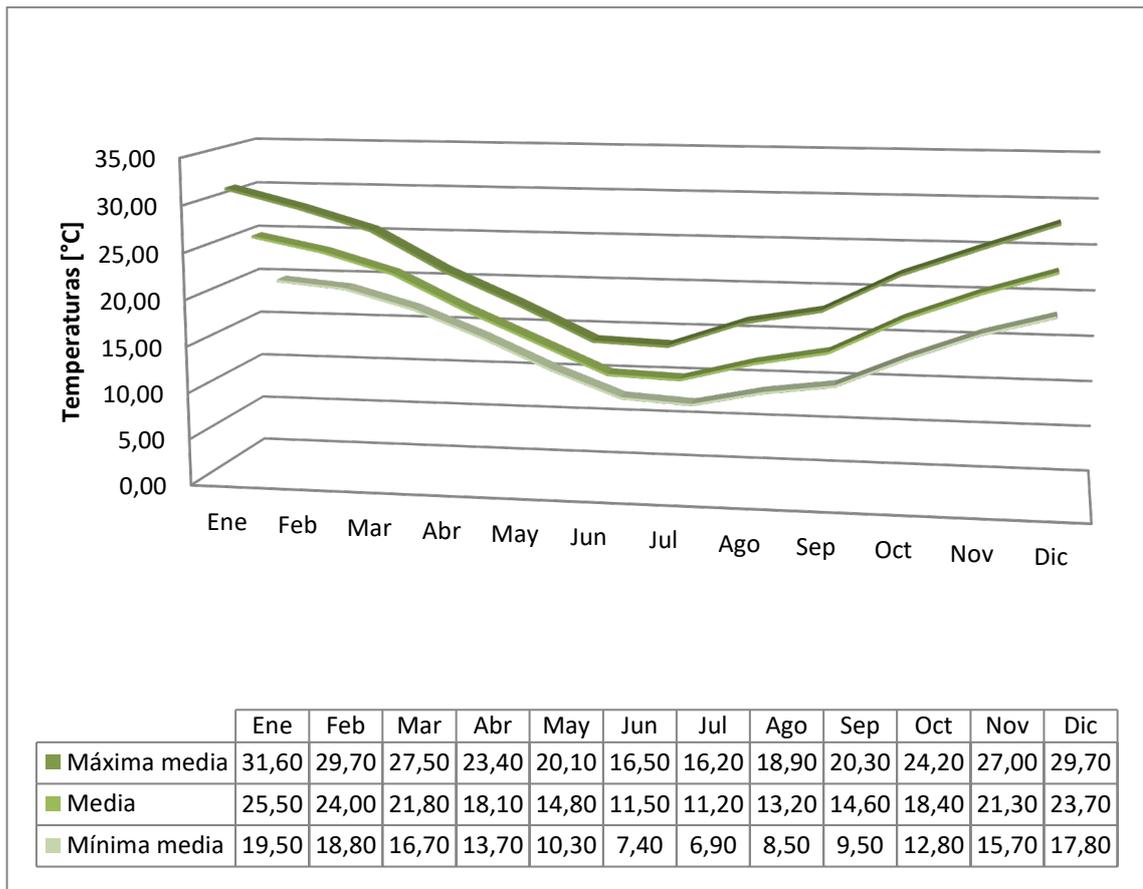


Figura 2.15: Distribución de temperaturas medias en la ciudad de Paraná.

3 METODOLOGÍA

3.1 DESARROLLO METODOLÓGICO

La metodología desarrollada tiene por finalidad construir curvas IDF para las cuencas descritas a partir de un análisis espacial de las precipitaciones registradas en la red pluviométrica provincial en los últimos 30 años. De esta manera el producto final permitirá generar tormentas de diseño que involucran las variaciones de las precipitaciones a lo largo del área que se analiza.

La provincia cuenta con abundante información pluviométrica proveniente de estaciones operadas por entes provinciales y nacionales. La primera etapa de recopilación y preparación de la base de datos incluyó un análisis cuidadoso de los mismos que se describen en la **sección 3.2**.

La base de datos pluviométricos generada a nivel provincial se utilizó a nivel de cuenca para la determinación de las precipitaciones medias areales (PMA) aplicando el método de los polígonos de Thiessen como se desarrolla en la **sección 3.3**.

En cada una de las cuencas y subcuencas se generó un pluviómetro ficticio (PF) cuyos registros corresponden a las PMA del área analizada. Para cada PF se calcularon las series de precipitaciones máximas anuales para distintas duraciones, superiores al tiempo de concentración de la cuenca. Se realizó el análisis de frecuencia de las series aplicando el modelo AFMULTI desarrollado por la Facultad de Ingeniería y Recursos Hídricos de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) que permitió determinar los valores de precipitación para las recurrencias de interés. En la **sección 3.4** se detalla el proceso en cada cuenca.

Obtenidos los valores de PMA para distintas duraciones y recurrencias se pudieron trazar las curvas IDF asociadas a una determinada cuenca como se describe en la **sección 3.5**.

Adicionalmente se realizó la determinación de los coeficientes de decaimiento areal (CDA) con el procedimiento que se detalla en **sección 3.6**.

3.2 RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

3.2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y ANÁLISIS DE CALIDAD

La recopilación de datos históricos fue el primer paso necesario a efectuar a fin de conocer el comportamiento local y regional de los procesos hidrometeorológicos que afectan a la zona en estudio. Dicha información hidrológica de carácter histórico está constituida por datos físicos; es decir, datos provenientes de la medición de las precipitaciones de eventos naturales ocurridos y registrados cronológicamente.

En la provincia de Entre Ríos existen diferentes organismos que incluyen entre sus actividades mantener un registro de las mediciones de las precipitaciones. Dichos registros constituyen fuente de toda la investigación y son los valores que, siendo representativos al ser correctamente interpretados, describen adecuadamente esas precipitaciones.

Las instituciones que proveyeron sus registros históricos en carácter oficial son:

- Dirección de Hidráulica de la provincia de Entre Ríos (DH)
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
- Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH)
- Servicio Meteorológico (SMN)
- Bolsa de Cereales de Entre Ríos

Los organismos enumerados precedentemente serán de aquí en adelante denominados operadores de sus respectivas estaciones de medición.

En la provincia, las localidades de Concordia, Concepción del Uruguay y Paraná cuentan con registros pluviográficos de longitud suficiente. Estos registros

proviene de las Estaciones Experimentales (EE) del INTA. Asimismo, el SMN posee estaciones en los aeropuertos de Concordia, Paraná y Gualeguaychú. La red de estaciones más extensa es la de DH. Cuenta con 154 pluviómetros, 4 pluviógrafos y 8 estaciones automáticas. En la Figura 3.1 se presenta un plano de la provincia con las estaciones de la Dirección de Hidráulica.

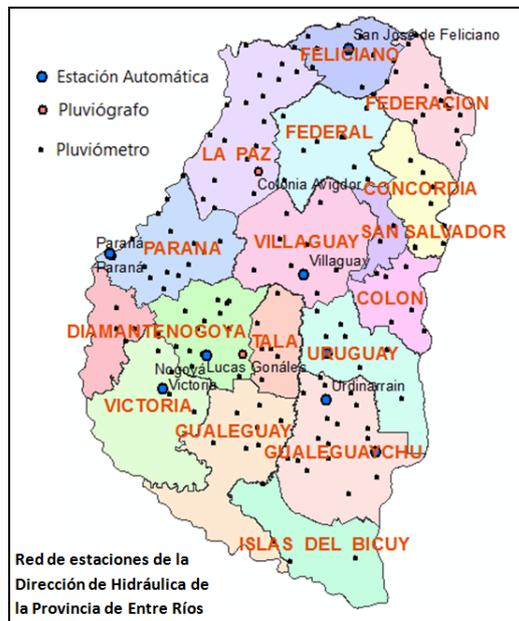


Figura 3.1: Red de estaciones de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos.

Aun cuando se observa una distribución espacial adecuada y acceso a datos de longitudes aptas para series extensas en cuanto a lo temporal, también es fácilmente constatable que las estaciones exhiben períodos sin registros y que, sin un tratamiento adecuado, pueden invalidar cualquier estimación que se haga a partir de ellos. Esta problemática se suscita particularmente en estaciones pertenecientes a la DH. Como contrapartida, muchas otras estaciones de la misma operadora tienen intervalos de registro continuos en períodos suficientemente largos y, además, las estaciones del INTA y del SMN presentan períodos largos en forma continua, por lo que se utilizaron para validar el resto de las estaciones pluviométricas.

El procedimiento de recolección de información de estaciones permitió reunir toda la información disponible en una base de datos con las principales características de cada una de ellas.

La información digital de las estaciones pluviométricas fue descargada en forma de archivos individuales de los sitios oficiales de sus respectivos operadores. Dicha información se encontraba en su mayoría en formato *pdf*. A los efectos del trabajo, fue necesario convertir dichos archivos de extensión *pdf* a extensión *xls* y así contar con archivos fácilmente procesables.

La georreferenciación de las estaciones en estudio también fue una tarea de primordial importancia realizada. Toda validez de resultados obtenidos donde la variable espacio es evaluada depende de ello. En el caso del presente, se demostró su implicancia en instancias siguientes, al crear los polígonos de Thiessen para la determinación posterior de las precipitaciones medias areales, objeto de este estudio. Por ello, se realizó en paralelo la comprobación y constatación de las localizaciones de cada pluviómetro consignadas por cada operador. Con base en archivos de formato *kmz*, fotografía satelital y monografías realizadas por la DH, se corrigieron y verificaron las ubicaciones de cada una de las estaciones de medición que componen la red hidrológica en estudio (). Cabe mencionar en este punto que la referenciación geográfica consignada se encontraba en coordenadas geográficas con su respectiva latitud y longitud. A los efectos de este trabajo de investigación, las coordenadas geográficas se convirtieron a coordenadas planas X e Y al sistema Gauss Krüger – Faja 5.

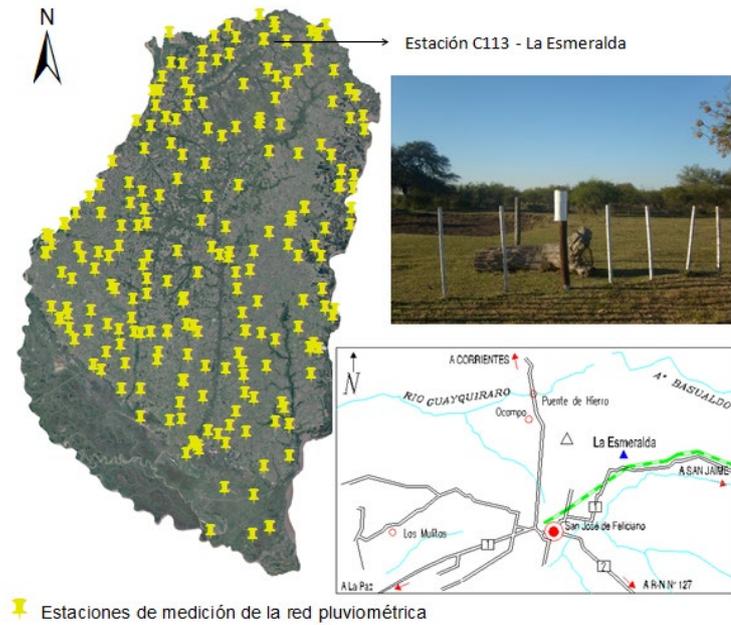


Figura 3.2: Ubicación de estaciones hidrológicas de la provincia de Entre Ríos.

Del proceso de reorganización de los datos e información externa obtenida se extrajo y resumió para cada estación el estado actual de la variable, denominación, operador, la longitud de registro, sus coordenadas de ubicación, cuenca y departamento al que pertenece. Por otro lado, se detectaron diversas situaciones en la inspección de las planillas de datos como meses sin registros diarios, meses con algunos días sin registro, incertidumbre en considerar la celda vacía como precipitación nula o como datos faltantes y omisión de medición por parte de los observadores. Un ejemplo de ello se ilustra en la Figura 3.3. La misma representa el tipo de planillas utilizadas para el análisis de la continuidad de los registros de las estaciones de medición. El comienzo del análisis corresponde al año de inicio de la estación con mayor longitud de registro, Estancia Buena Esperanza, ubicada en el departamento Federación y perteneciente a la red de estaciones de la DH.

El análisis de los datos permitió clasificar como estaciones más confiables en cuanto a su cobertura de datos a la estación *San José de Feliciano (ID 107)*, operada por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos, estación *Gualeguaychú Aero (ID 87497)*, operada por el Servicio Meteorológico Nacional, la estación Lucas Gonzales (ID 432) y la estación San Salvador Comisaria (ID 917), ambas operadas por la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos.

3.2.2 GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL

El procesamiento de la información se realizó en un sistema de información geográfico (SIG) que permitió el análisis de la distribución espacial de los datos pluviométricos. El software empleado para la generación de la base de datos espacial fue el programa ArcGIS. Es un producto de la empresa norteamericana Environmental Systems Research Institute (ESRI) y está compuesto de un conjunto de herramientas para crear, manipular, distribuir y analizar la información geográfica.

3.2.3 CATEGORIZACIÓN DE LAS ESTACIONES

Las estaciones fueron categorizadas en función de la calidad de sus datos en el período de análisis establecido, 1985 a 2016.

En los datos recopilados se observó una gran variabilidad de la cobertura temporal de los registros pluviométricos, no verificando en la mayoría de los casos la condición antes señalada de 30 años continuos de información. Con el objeto de evaluar la aptitud de las estaciones, se elaboró un sistema de categorización en función de la extensión y continuidad de los registros.

Dentro del intervalo temporal seleccionado se analizaron cada uno de los registros disponibles de las estaciones pertenecientes a la Red Pluviométrica Provincial. Esta evaluación consistió en establecer el porcentaje de completitud de datos disponibles de medición para cada año de la serie, lo cual se calculó

mediante el cociente entre la cantidad de meses observados de todo el período de registro y la cantidad total de meses de la serie anual completa.

Por último y para la evaluación de la red pluviométrica en cuanto a la densidad de cobertura de las observaciones, fueron empleados los criterios de densidad provistos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008, 2011) que se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Criterios de densidad de la OMM.

Categoría de las Regiones	Límites para una red mínima	Límite admisible para circunstancias particulares
	Sup. en km ² por estación	Sup. en km ² por estación
Regiones llanas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales	600-900	900-3000
Regiones montañosas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales	100-250	250-1000
Zonas áridas	1500-10000	

De cada cuenca se obtuvo un índice de estimación de la calidad de la información, considerando que ella puede expresarse numéricamente como el promedio de los valores de categoría de cada estación a utilizar en el estudio.

3.2.3.1 SISTEMA DE CATEGORIZACIÓN

Las estaciones se clasificaron siguiendo los criterios que se describen en función la cobertura temporal de sus registros en los últimos 30 años:

Categoría 1: pluviómetros con 30 años de registros completos o que posean más del 95 % de la información en cada año.

Categoría 2: pluviómetros con mínimo 25 años de registros completos o que posean más del 90 % de la información en dichos años.

Categoría **3**: pluviómetros con mínimo 20 años de registros completos o que posean más del 80% de la información en dichos años.

Categoría **4**: pluviómetros con mínimo 15 años de registros completos o que posean más del 70 % de la información en dichos años.

Categoría **5**: pluviómetros que no integran ninguna de las categorías anteriores.

3.2.3.2 ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS

En la información de la red provincial, distintas circunstancias en la constancia de medición y cobertura temporal general de cada uno de los registros pluviométricos y la relación de estas variables hicieron que no fuese posible utilizarlos como registros representativos. Se observaron, por ejemplo, inconsistencias en la medición diaria donde no fue poco habitual que, en estaciones de más de 30 años de medición, hubiera largos períodos sin observación. En otras estaciones, cuyo funcionamiento ha sido consistente, pero de inicio más reciente, se corroboró la presencia de períodos cortos de medición. Por último, existen estaciones confiables con registros continuos y de longitud suficiente. Como resultado se observa una heterogeneidad en las categorías de las estaciones (Figura 3.4).

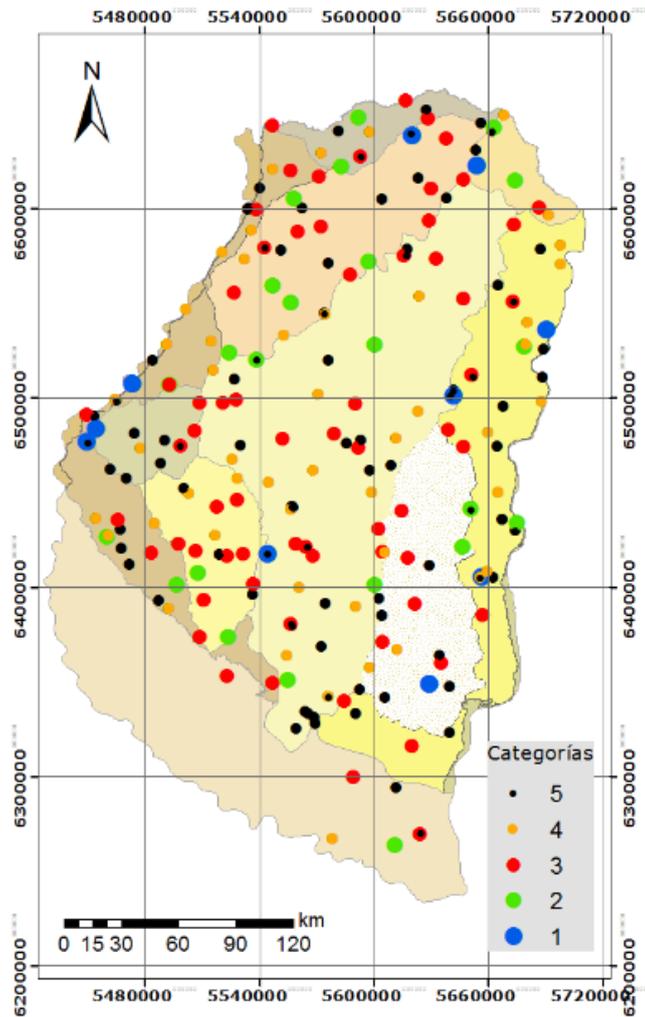


Figura 3.4: Categorización de la red pluviométrica provincial

3.2.4 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES

La red pluviométrica a considerar en cada una de las cuencas requiere contar con suficiente cobertura temporal de registros que permita realizar un análisis de frecuencia confiable. En cada una de las cuencas se seleccionaron aquellas estaciones con datos de calidad y en lo posible, extensos períodos de registro aplicando los criterios que se detallan a continuación.

3.2.4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Como criterio general se conservaron todos los pluviómetros internos a las cuencas de categorías 1, 2 y 3, mientras que los de categorías 4 y 5 se evaluaron en función de la superposición de sus áreas de influencia y se consideraron

únicamente en los casos de áreas extensas sin cobertura pluviométrica. Con el mismo fin, también se adoptaron pluviómetros exteriores a la cuenca, pero cercanos al límite para cubrir datos faltantes en zonas de importancia.

Este análisis se realizó mediante el trazado preliminar de círculos de influencia de 15 km de radio de acuerdo a criterios de la DH que, además, se hallan dentro de los límites establecidos por la OMM para una red pluviométrica mínima. Se eliminaron los pluviómetros de categorías 4 y 5 cuyos círculos se superpusieron con los de menor número de orden de categoría.

3.2.4.2 REDES PLUVIOMÉTRICAS CONFORMADAS

Para cada una de las cuencas se conformó una red pluviométrica aplicando los criterios descritos.

3.2.4.2.1 Red pluviométrica Cuenca Arroyo Feliciano

En la cuenca del *arroyo Feliciano* prevalecieron en mayor medida las estaciones de medición de categoría 2 y 3 que las de categoría 1, 4 y 5 (Figura 3.5). Se constató la existencia de grandes áreas sin puntos de medición, especialmente en la zona central.



Figura 3.5: Estaciones pluviométricas seleccionadas cuenca del arroyo Feliciano.

3.2.4.2.2 Red pluviométrica Cuenca río Gualeguay

La cuenca del río *Gualeguay*, como puede observarse en la Figura 3.6, posee mayormente estaciones de categoría 3 y 4. Las áreas con baja densidad de estaciones se concentran especialmente en la zona Centro y Sur de la cuenca.

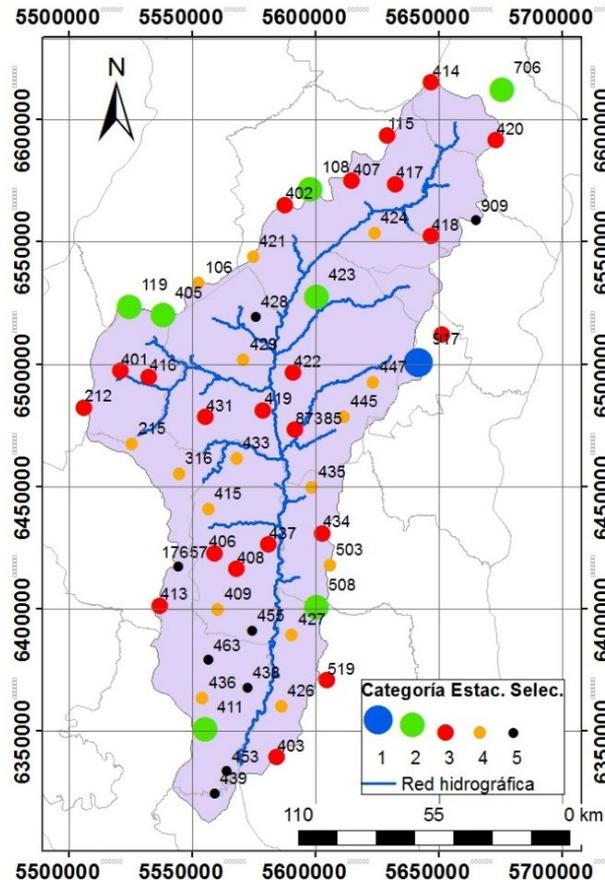


Figura 3.6: Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Gualeguay

3.2.4.2.3 Red pluviométrica Cuenca río Gualeguaychú

En las Figura 3.7 se presenta la distribución espacial de los pluviómetros adoptados en la cuenca del río Gualeguaychú. En este caso, prevalecieron en mayor medida las estaciones de medición de categoría 3 y 5 y en menor cantidad las de categoría 1, 2 y 4. La región norte de la cuenca es la de menor densidad de puntos de medición pluviométrica.



Figura 3.7: Red de estaciones seleccionadas Cuenca del río Gualeguaychú

3.2.4.2.4 Red pluviométrica Cuenca Arroyo Las Conchas

En la cuenca del *arroyo Las Conchas* predominaron las estaciones de medición de menor calidad, las de categoría 5, mientras que las de categoría 1, 2, 3 y 4 se presentan en forma escasa (Figura 3.8).

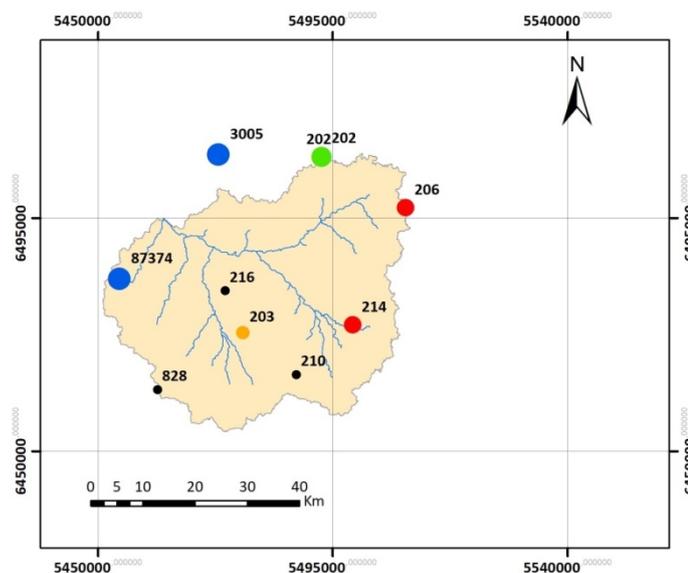


Figura 3.8: Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del arroyo Las Conchas

3.2.4.2.5 Red pluviométrica Cuenca Arroyo Nogoyá

La cuenca del *arroyo Nogoyá* posee en mayor medida estaciones de medición de categoría 3 (**Figura 3.9**).

El área de cuenca comprendida por cada estación considerada varió entre 135,50 km² y 591,13 km² por estación.

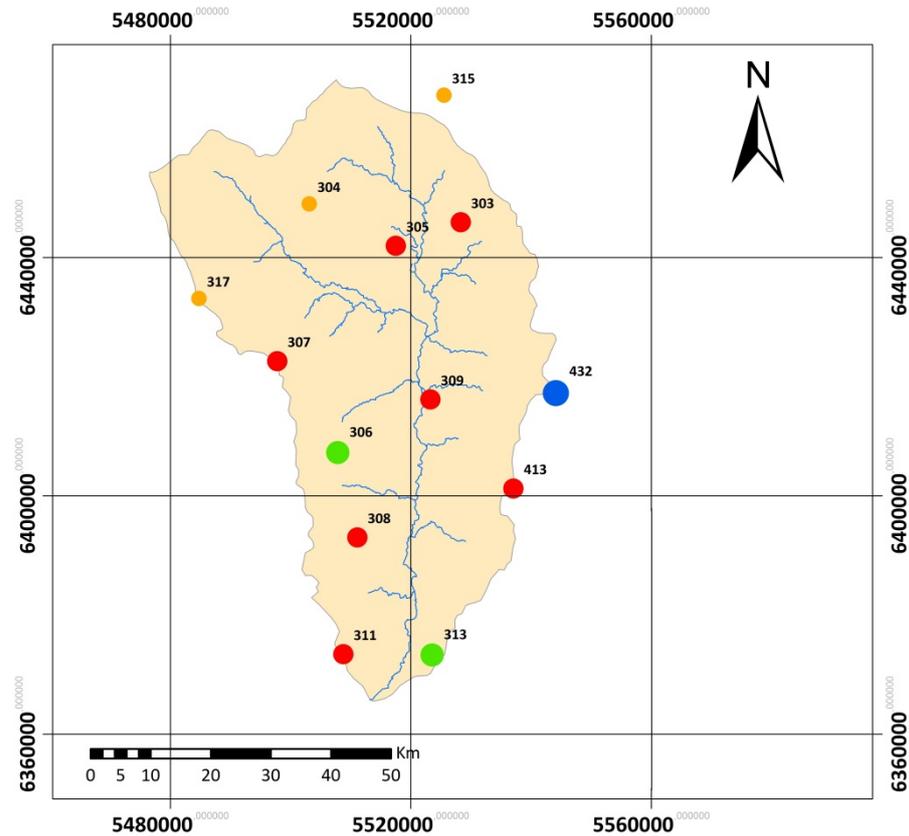


Figura 3.9: Red de estaciones seleccionadas cuenca del arroyo Nogoyá.

3.2.4.3 DENSIDAD MEDIA DE LAS REDES CONFORMADAS

Los resultados de la categorización de las estaciones seleccionadas en las cuencas se sintetizan en Tabla 3.2. que permitió definir una categoría promedio y la densidad media de la red pluviométrica depurada en las zonas de estudio. La OMM (2011) recomienda, para propósitos hidrometeorológicos generales en regiones de llanura en zonas tropicales, mediterráneas o templadas, una densidad mínima de 1 estación cada 600 a 900 km².

Tabla 3.2- Densidad media de las redes pluviométricas adoptadas

Cuenca	Área cuenca [km ²]	Estación	Cantidad de estaciones por categoría					Categ. Prom.	Total Pluv. Seleccion.	Área Promedio
			1	2	3	4	5			[km ² /Pluv]
Arroyo Feliciano	8182	Internas	1	6	8	1	1	2,63	24	340,93
		Externas	1	2	2	2	0			
		Total	2	8	10	3	1			
Río Gualeguaychú	6982	Internas	1	2	7	1	2	3,00	19	367,47
		Externas	1	1	2	0	2			
		Total	2	3	9	1	4			
Río Gualeguay	21549	Internas	1	4	16	15	7	3,41	54	399,05
		Externas	0	3	6	1	1			
		Total	1	7	22	16	8			
Arroyo Las Conchas	2157	Internas	1	0	2	1	3	3,00	9	239,63
		Externas	1	1	0	0	0			
		Total	2	1	2	1	3			
Arroyo Nogoyá	3885	Internas	0	2	5	2	0	2,85	13	298,86
		Externas	1	0	2	1	0			
		Total	1	2	7	3	0			

La cobertura temporal se consideró aceptable. Sin embargo, la presencia de distintas categorías denotó la existencia de faltantes en los registros diarios de los últimos 30 años.

3.2.5 RELLENAMIENTO DE LAS SERIES

Los procesos de *categorización y selección de estaciones pluviométricas* pusieron en evidencia la falta de continuidad en las bases de datos disponibles para conformar series con 30 años de registro siendo necesario realizar un rellenamiento de las series.

Se adoptó como método de relleno el de Ponderación de la Inversa de la Distancia al Cuadrado "IDW" (Inverse Distance Wighted) por ser el que demostró el mejor ajuste al comparar con otros métodos.

La bondad de ajuste se analizó mediante los estimadores: Error Root Mean Square Deviation (RMSE) y Mean Absolute Error (MAE).

3.2.5.1 MÉTODO IDW (INVERSE-DISTANCE-WEIGHTED)

Este método es utilizado por el National Weather Service (NWS) de los Estados Unidos y consiste en estimar el dato faltante de una estación a partir de las mediciones en las estaciones pluviométricas cercanas. La variable principal del método es la distancia entre la estación a completar y las estaciones vecinas asignándole a cada una un coeficiente de ponderación w_i según la inversa del cuadrado de las distancias d_i . Cuanto más cercana se encuentre la estación, mayor incidencia tiene en el valor final (Figura 3.10).

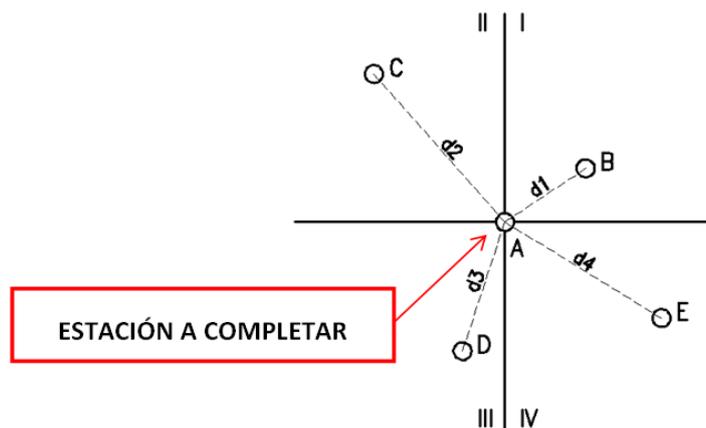


Figura 3.10: Ubicación de pluviómetros para relleno de datos.

Las series fueron completadas aplicando la ecuación (1)

$$P_A = w_B \cdot P_B + w_C \cdot P_C + w_D \cdot P_D + w_E \cdot P_E \quad (1)$$

Donde:

P_A : precipitación en el pluviómetro A, a completar.

$P_B; P_C; P_D; P_E$: precipitación en los pluviómetros cercanos B, C, D y E.

$w_B; w_C; w_D; w_E$: coeficientes de ponderación de los pluviómetros cercanos B, C, D y E.

Previamente, se calcularon los coeficientes de peso o ponderación mediante las siguientes expresiones:

$$w_B = \frac{\frac{1}{d1^2}}{\frac{1}{d1^2} + \frac{1}{d2^2} + \frac{1}{d3^2} + \frac{1}{d4^2}}$$

$$w_C = \frac{\frac{1}{d2^2}}{\frac{1}{d1^2} + \frac{1}{d2^2} + \frac{1}{d3^2} + \frac{1}{d4^2}}$$

$$w_D = \frac{\frac{1}{d3^2}}{\frac{1}{d1^2} + \frac{1}{d2^2} + \frac{1}{d3^2} + \frac{1}{d4^2}}$$

$$w_E = \frac{\frac{1}{d4^2}}{\frac{1}{d1^2} + \frac{1}{d2^2} + \frac{1}{d3^2} + \frac{1}{d4^2}}$$

Donde:

$w_B; w_C; w_D; w_E$: coeficientes de ponderación de los pluviómetros cercanos B, C, D y E.

$d_1; d_2; d_3; d_4$: distancias entre los pluviómetros cercanos y la estación a completar.

3.2.5.2 PROCEDIMIENTO DE COMPLETAMIENTO

Partiendo del registro base de datos de todos los pluviómetros seleccionados, se procedió a analizar los intervalos de discontinuidades en las series de precipitación diaria. Estas estaciones a completar, llamadas Pivote, se colocaron en el origen de un sistema de coordenadas cartesianas ficticio. A partir de este sistema, se debieron hallar los pluviómetros vecinos con datos para el

relleno, intentando que al menos haya una estación por cuadrante. Se adoptaron, entonces, como mínimo 4 estaciones para el completamiento de datos.

❖ Ejemplo de completamiento

El ejemplo corresponde a la estación Banderas (ID 102) de categoría 3 ubicada en la región central de la cuenca del arroyo Feliciano. En **Figura 3.11** se indican los períodos con discontinuidades en las observaciones. Las estaciones vecinas consideradas para el completamiento de datos se indican en **Figura 3.12**.

En Tabla 3.3 se calculan las distancias de la estación *Banderas* a los pluviómetros vecinos y el coeficiente de influencia de los mismos (inverso de la distancia al cuadrado).

Aplicando la ecuación (1) a cada uno de los días sin registro se completó la serie de datos diarios (Figura 3.13).

Estación Banderas

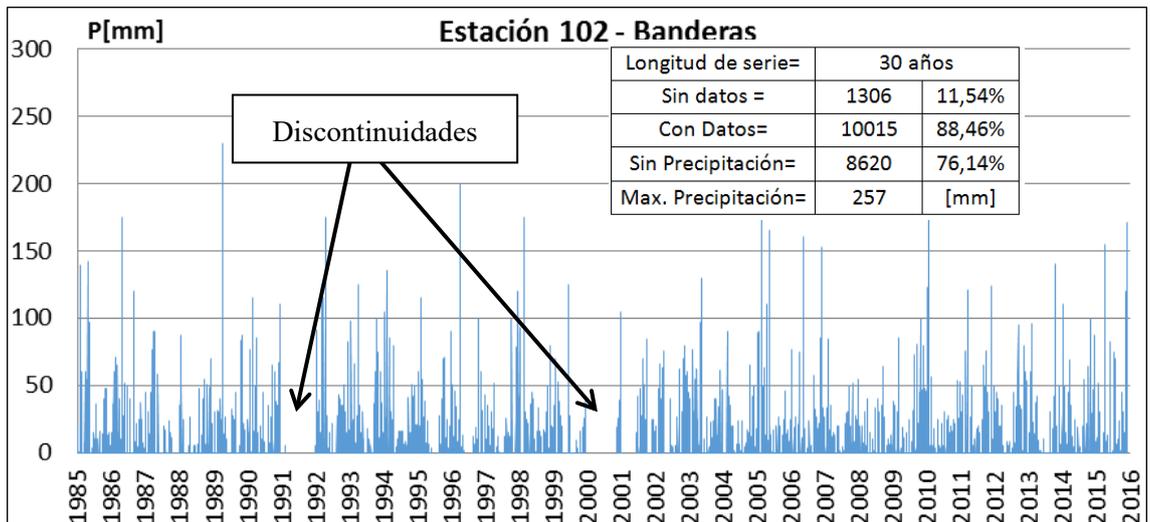


Figura 3.11: Serie del pluviómetro Banderas con faltante de datos.

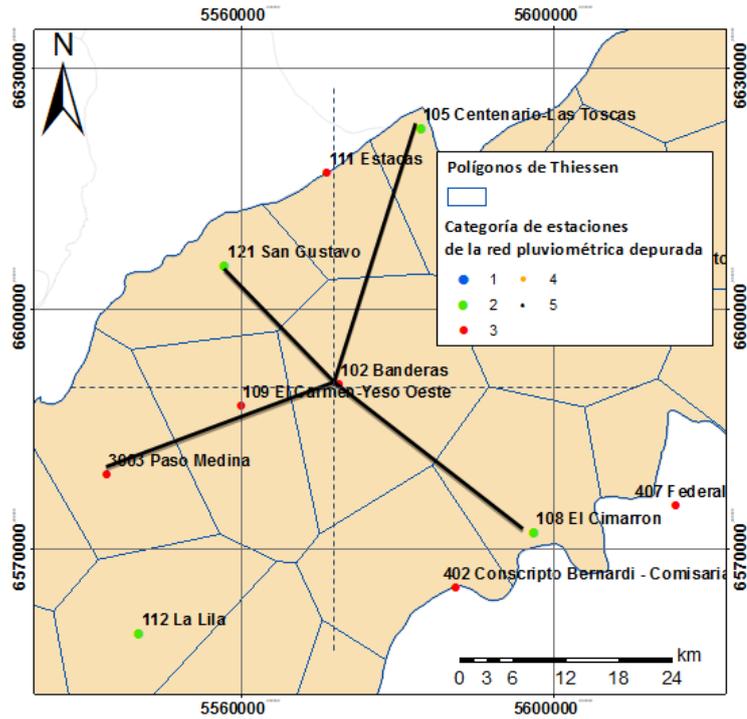


Figura 3.12: Ubicación de pluviómetros para relleno de datos.

Tabla 3.3: Distancias de pluviómetros cercanos a Banderas.

Pluviómetro a completar	Pluviómetros cercanos	Distancia d_i [Km]	$W_i=1/(d_i^2)$	$W_i/\sum W_i$
102-Banderas	El Cimarrón	31,11	0,0010	0,1887
	San Gustavo	20,61	0,0024	0,4528
	Paso Medina	31,66	0,0010	0,1887
	Las Toscas C.	33,59	0,0009	0,1698
			0,0053	1,00

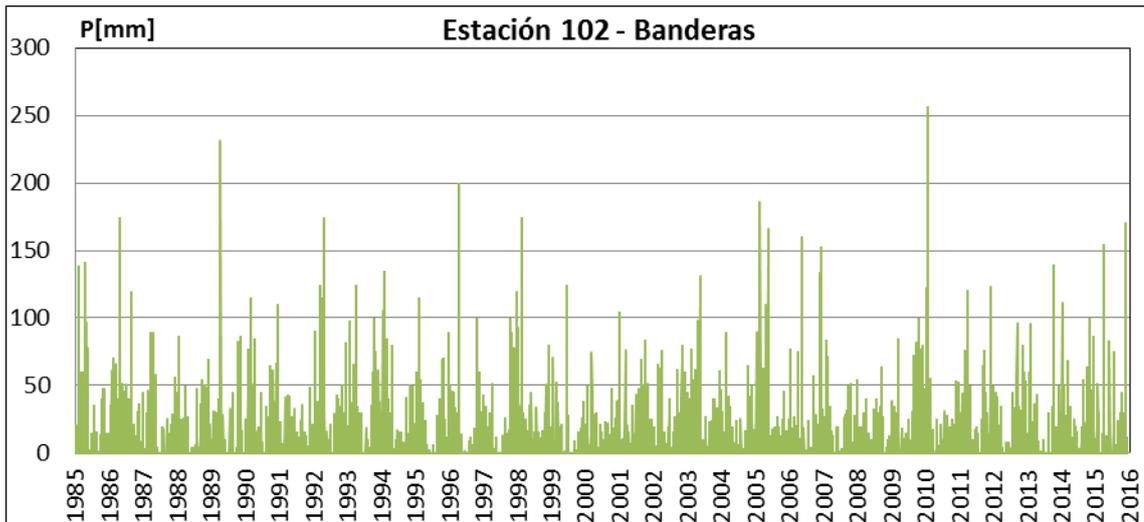


Figura 3.13: Serie Completada Estación Banderas

3.2.6 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LAS SERIES GENERADAS

Las series completadas se contrastaron con series de estaciones confiables para evaluar la confiabilidad de los datos y procedimiento aplicado. Para ello se utilizó el método de la curva de doble acumulación. Este método considera que, en una zona meteorológica homogénea, los valores de precipitación observada en diferentes puntos de esa zona en períodos anuales o estacionales guardan una relación de proporcionalidad.

Los datos acumulados de la estación completada y de la estación confiable se representan en un gráfico de ejes cartesianos. Si el registro de la estación a controlar es consistente, la recta para un período de tiempo tendrá una pendiente constante. Un cambio en la pendiente sugerirá que existe una inconsistencia que puede ser debida a factores externos o condiciones heterogéneas de las estaciones consideradas (Figura 3.14).

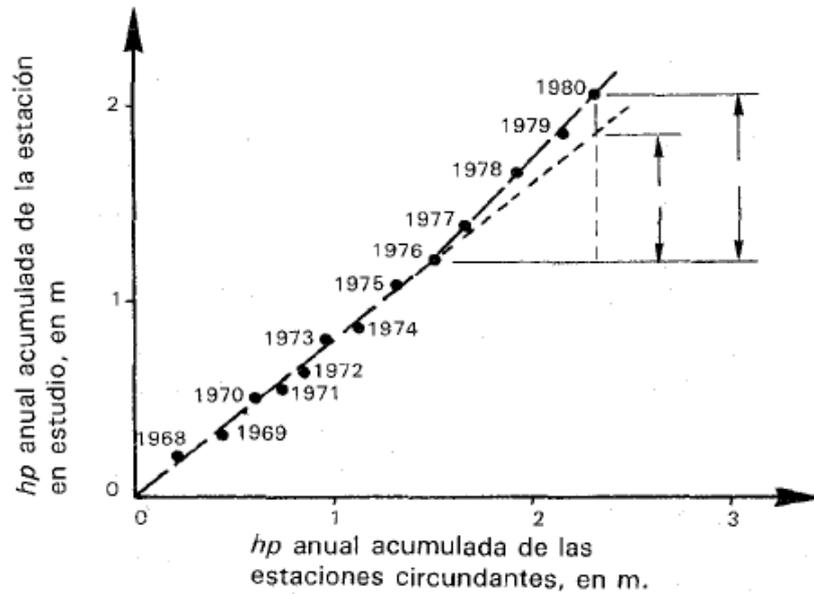


Figura 3.14: Método de la Curva de doble acumulación (Aparicio, 1997)

La consistencia de los datos completados se cuantificó mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson al cuadrado (R^2). Cuanto más cercano al valor de 1 mejor ajuste.

❖ Ejemplo de análisis de consistencia

Se consideraron estaciones de confiables las de categoría de orden 1 seleccionándose para el contraste la estación de dicha categoría más cercana a la estación a evaluar.

A modo de ejemplo, se considera la estación Banderas. En la Figura 3.15 se representan las estaciones de mayor confiabilidad. Se trazaron los polígonos de Thiessen para dichas estaciones. La estación a evaluar se contrastó con la estación correspondiente al polígono que la incluye, en este caso la Estación Banderas se encuentra dentro del área de la Estación 107 San Jose de Feliciano. En Figura 3.16 se grafica las curvas de doble acumulación resultante del contraste entre ambas estaciones.

Extendiendo esta metodología al resto de las series completadas se determinaron factores de ajuste R^2 en todos los casos cercanos a la unidad concluyendo que el resultado del proceso de relleno es aceptable.

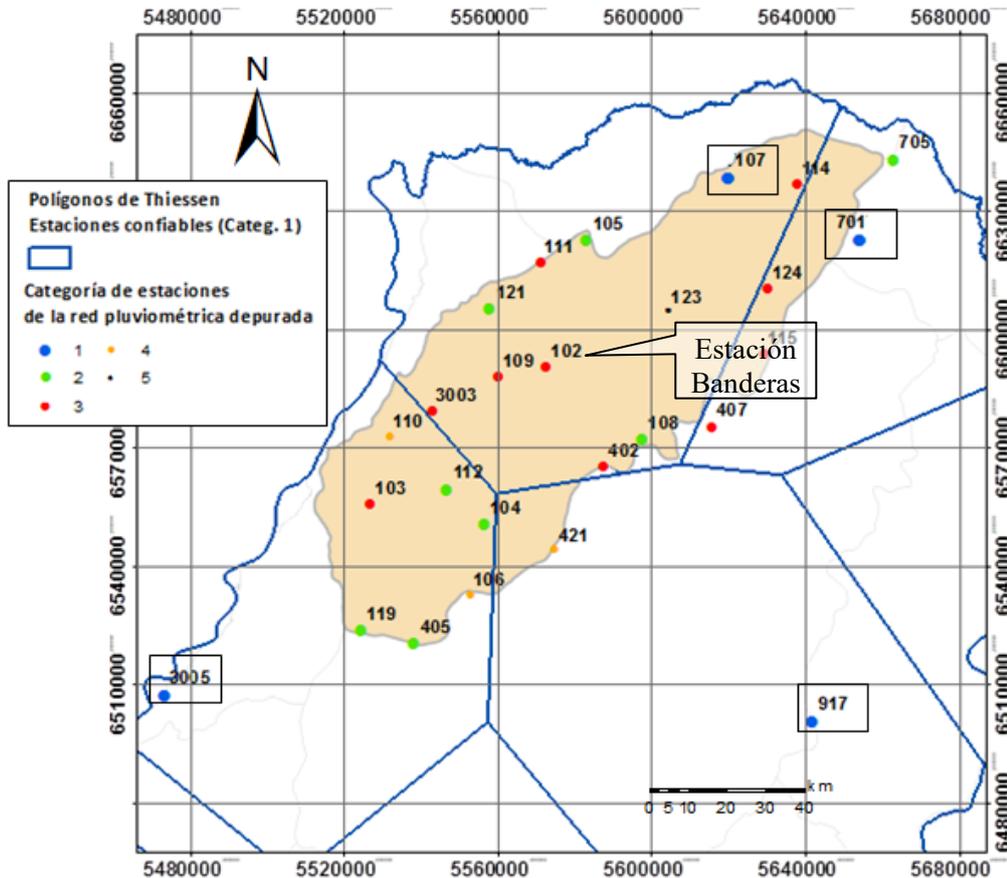


Figura 3.15: Área de influencia de estaciones confiables cuenca del arroyo Feliciano.

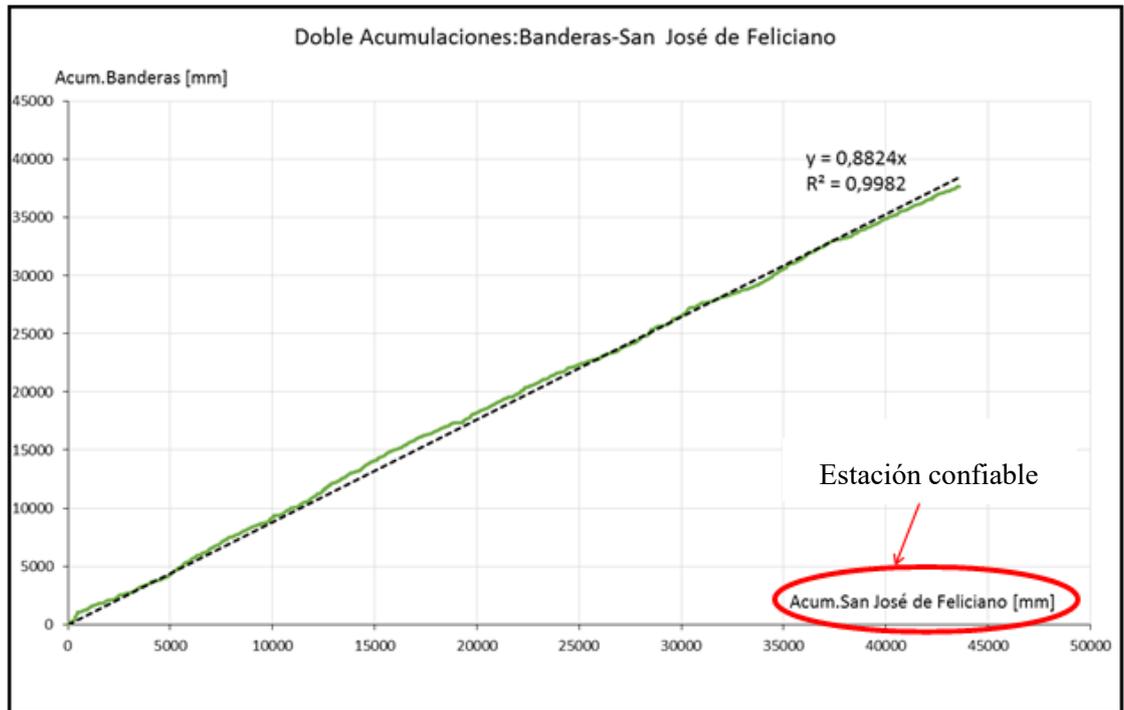


Figura 3.16: Contraste Estación 102 - Banderas.

3.3 SERIES DE PRECIPITACIÓN MEDIA AREAL

En esta sección se desarrolló y aplicó la metodología para la obtención de las PMA para las cuencas y subcuencas con cierre en puntos que podrían ser de interés en futuros estudios.

3.3.1 DELIMITACIÓN DE SUBCUENCAS

Se dividieron las cuencas analizadas en subcuencas seleccionando cierres sobre los cauces principales coincidentes con algún punto particular o de interés para el diseño de obras hidráulicas como puentes o defensas de inundaciones. Se seleccionaron puntos próximos a localidades, cruces de rutas y ubicaciones de estaciones de aforo. En particular los aforos son puntos de interés calibrar y validar modelos hidrológicos.

Las subcuencas fueron delimitadas con la extensión HEC-GeoHMS para ArcGIS y verificadas mediante superposición y análisis sobre imagen satelital.

3.3.1.1 SUBCUENCAS ARROYO FELICIANO

En la cuenca perteneciente al arroyo Feliciano se seleccionaron como secciones de control de las subcuencas las intersecciones del cauce principal con las Rutas Provinciales N° 6 (Paso Medina) y N°2 y, también, el cierre total de la cuenca (Figura 3.17). En las inmediaciones del puente de Paso Medina, ubicado en la primera sección de control establecida, existe una estación de medición de caudales perteneciente a la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) identificada con el ID 3003.

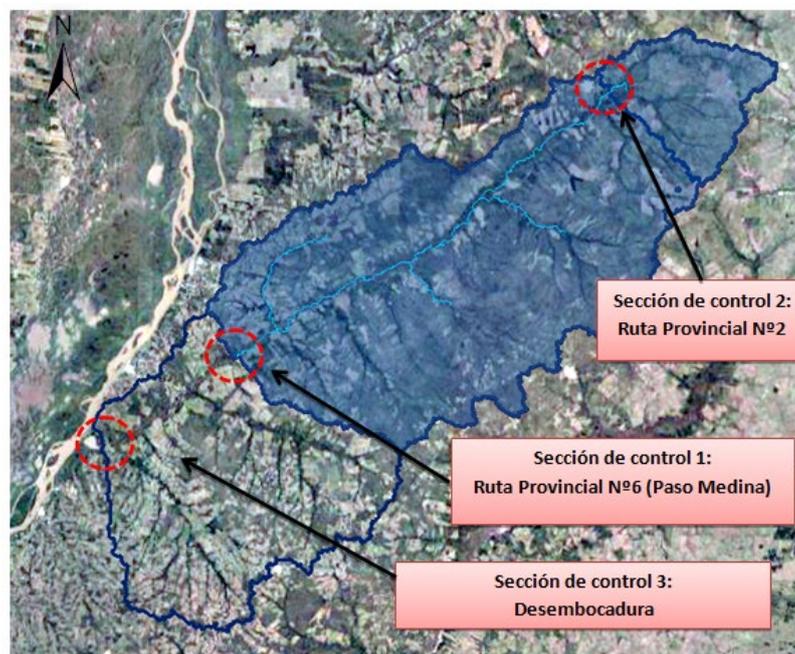


Figura 3.17: Delimitación de subcuencas del arroyo Feliciano

3.3.1.2 SUBCUENCAS RÍO GUALEGUAYCHÚ

En la cuenca del río Gualeguaychú, se seleccionaron como secciones de control un sitio en la ciudad próximo al cauce y las intersecciones de éste con la Ruta Nacional N°130 y Provincial N°39 (Figura 3.18). En proximidades a tales puntos existen estaciones de aforo operadas también por las SSRH.

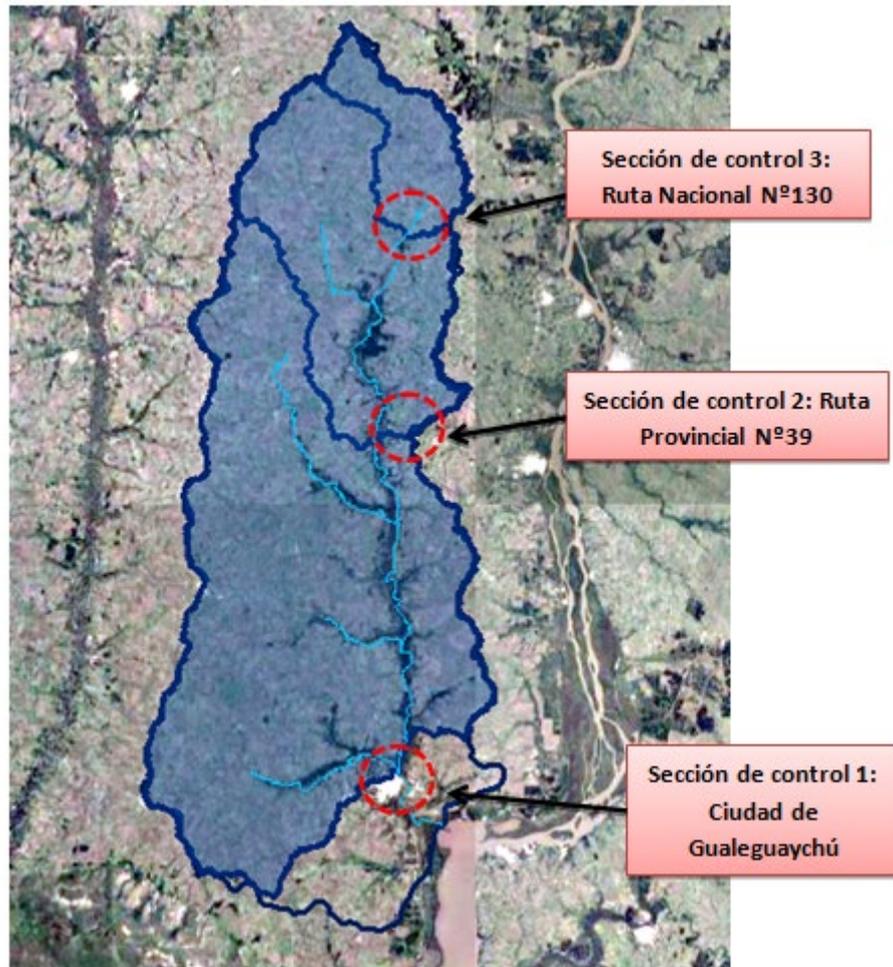


Figura 3.18: Delimitación de subcuencas del río Guauguaychú

3.3.1.3 SUBCUENCAS RÍO GUALEGUAY

En la cuenca del Río Guauguay, dada su extensión, se trazaron seis subcuencas. La primera subcuenca tiene cierre en Cañada Bermúdez, la segunda en Arroyo Guerrero, la tercera en Paso Duarte, en coincidencia con la Ruta Provincial Nº 22. Una cuarta subcuenca posee cierre en Villaguay, donde existen aforos al igual que en la quinta, Rosario del Tala y en la última, Paso Alonso abarcando casi la totalidad de la cuenca (Figura 3.19).

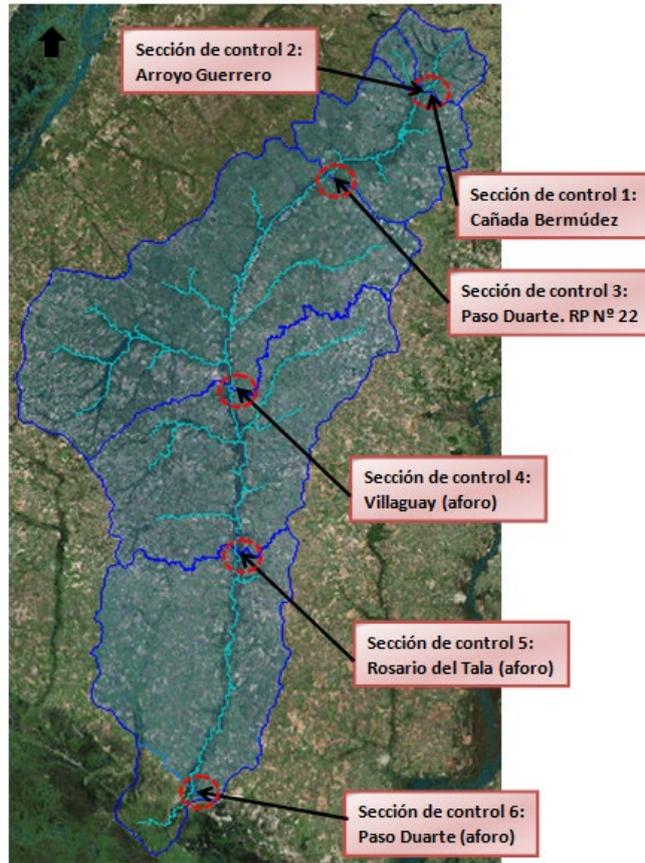


Figura 3.19: Delimitación de subcuencas del río Gualeguay

3.3.1.4 SUBCUENCAS DEL ARROYO LAS CONCHAS

En la cuenca perteneciente al arroyo Las Conchas se seleccionaron como secciones de control las intersecciones del cauce principal con el Río Paraná y Ruta Nacional N° 12 (**Figura 3.20**).

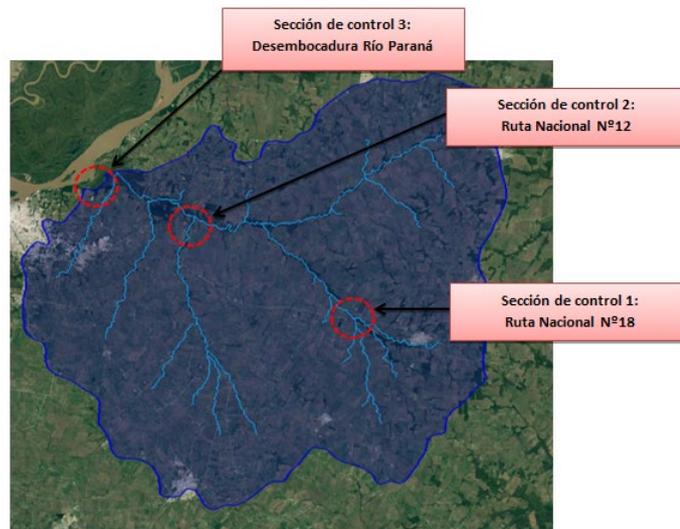


Figura 3.20: Delimitación de subcuencas del Arroyo Las Conchas

3.3.1.5 SUBCUENCAS DEL ARROYO NOGOYÁ

En la cuenca perteneciente al arroyo Nogoyá se seleccionaron como secciones de control de las intersecciones del cauce principal con las Rutas Provinciales N°11 y N°34 y la Ruta Nacional N°12 (**Figura 3.21**).

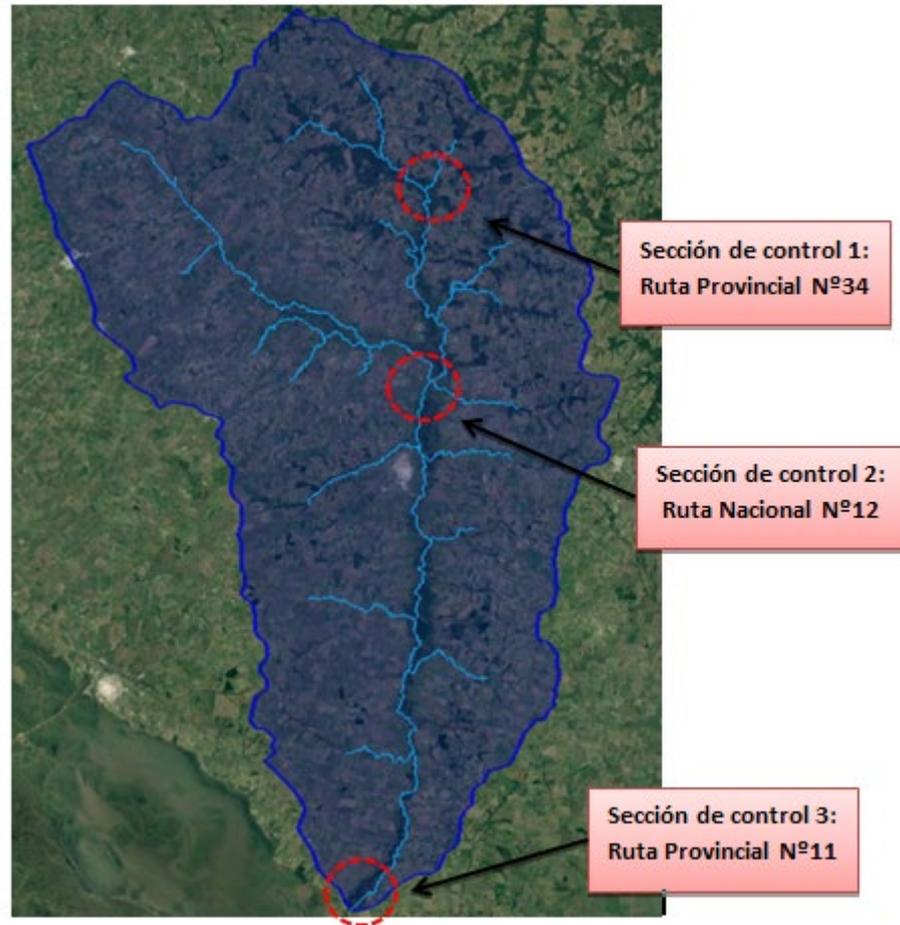


Figura 3.21: Delimitación de subcuencas del Arroyo Nogoyá

En la Tabla 3.4 se consignan las características físicas principales de todas las secciones de control ya presentadas. Los datos de las pendientes de las subcuencas y del escurrimiento fueron determinados en HEC-GeoHMS a partir del Modelo de Elevación Digital (MDE).

Tabla 3.4- Parámetros físicos de las subcuencas

Cuenca	Subcuencas		Mayor trayectoria del escurrimiento				
	Sección control	Área	Longitud	Nivel aguas arriba	Nivel aguas abajo	Diferencia nivel	Pend. cauce
		A	L_c	H_1	H_2	ΔH	i
		[km ²]	[km]	[mIGM]	[mIGM]	[m]	[%]
A. Feliciano	Desembocadura	8185,3	177,5	83,79	20,00	63,79	0,036
	RP N°6	5537,60	156,59	83,79	32,92	50,87	0,032
	RP N°2	702,70	52,00	83,79	55,94	27,85	0,054
Guauguaychú	Ciudad Gchú.	6297,77	144,98	76,27	1,49	74,78	0,052
	RP N°39	2031,07	90,08	76,27	23,00	53,27	0,059
	RN N°130	470,00	47,33	76,27	38,01	38,26	0,054
Guauguay	Cañada Bermudez	610,69	30,84	72,0	60,0	12,00	0,04
	Arroyo Guerrero	818,22	30,837	72,0	60,0	12,00	0,04
	Paso Duarte	2971,07	90,48	72,	50,0	22,00	0,02
	Villaguay	10862,94	193,51	72,0	36,0	36,00	0,02
	Rosario del Tala	16097,77	265,93	72,0	30,0	42,00	0,02
	Paso Alonso	21238,57	382,89	72,0	6,0	66,00	0,02
Arroyo Las Conchas	Río Paraná	2119,4	0,089	61,30	126,37	16,20	110,17
	RNN°12	1728,9	0,082	49,37	124,37	23,00	101,37
	RNN°18	371,2	0,049	17,18	110,14	49,64	60,50
Arroyo Nogoyá	RP N°11	3885,1	0,094	144,76	125,22	9,00	0,080
	RN N°12	2604,1	0,072	94,58	125,22	36,01	0,094
	RP N°34	366,3	0,040	27,83	125,22	55,09	0,252

3.3.2 CÁLULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA AREAL

Se adoptaron pluviómetros ficticios, cuyas precipitaciones diarias se obtuvieron mediante el cálculo de la precipitación media areal en las subcuencas seleccionadas. Se utilizó para ello el método de los polígonos de Thiessen por considerar éste la eventual falta de uniformidad en la distribución de estaciones y proveer mejores resultados en zonas con topografías suaves y condiciones atmosféricas uniformes (Aparicio, 1997).

El *método de Thiessen* establece que en cualquier punto de la cuenca la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano; luego la profundidad registrada en un pluviómetro dado se aplica hasta la mitad de la distancia a la

siguiente estación pluviométrica en cualquier dirección. Los pesos relativos de cada pluviómetro se determinan de las correspondientes áreas de aplicación en una red de polígonos de Thiessen, cuyas fronteras están formadas por los bisectores perpendiculares a las líneas que unen pluviómetros adyacentes como se ilustra en la Figura 3.22.

El método de Thiessen generalmente es más exacto, pero es inflexible, debido a que se tiene que construir una nueva red de Thiessen cada vez que haya un cambio en la red de pluviómetros, tal como ocurre cuando falta información en alguno de ellos. Este problema se ve prácticamente solucionado con la implementación de las nuevas herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de cálculo inmediato de los polígonos y sus coeficientes de ponderación.

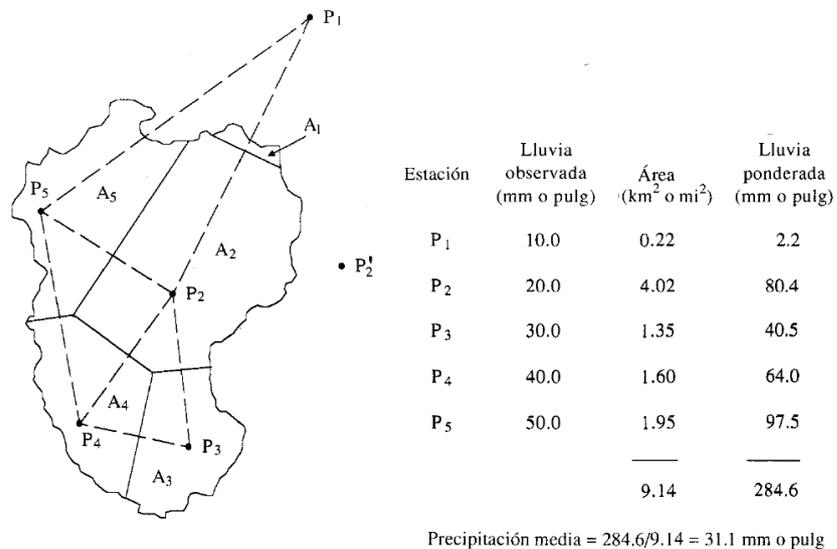


Figura 3.22: Ven Te Chow (1994). "Cálculo de la lluvia promedio sobre área por el método de Thiessen". Hidrología aplicada.

De la información pluviométrica recopilada de estaciones meteorológicas operadas por organismos públicos (DH, SSSRH, INTA y SMN) y posterior selección de las mismas en base al análisis de su calidad, se estableció el conjunto de pluviómetros que se utilizaron para el cálculo de la PMA en cada una de las subcuencas establecidas.

En las figuras siguientes se representan los polígonos de Thiessen trazados mediante las herramientas que ofrece el software ArcGIS en las subcuencas delimitadas del arroyo Feliciano (Figura 3.23), río Gualeguaychú (Figura 3.24), río Gualeguay (Figura 3.25), arroyo Las Conchas (Figura 3.26) y arroyo Nogoyá (Figura 3.27).

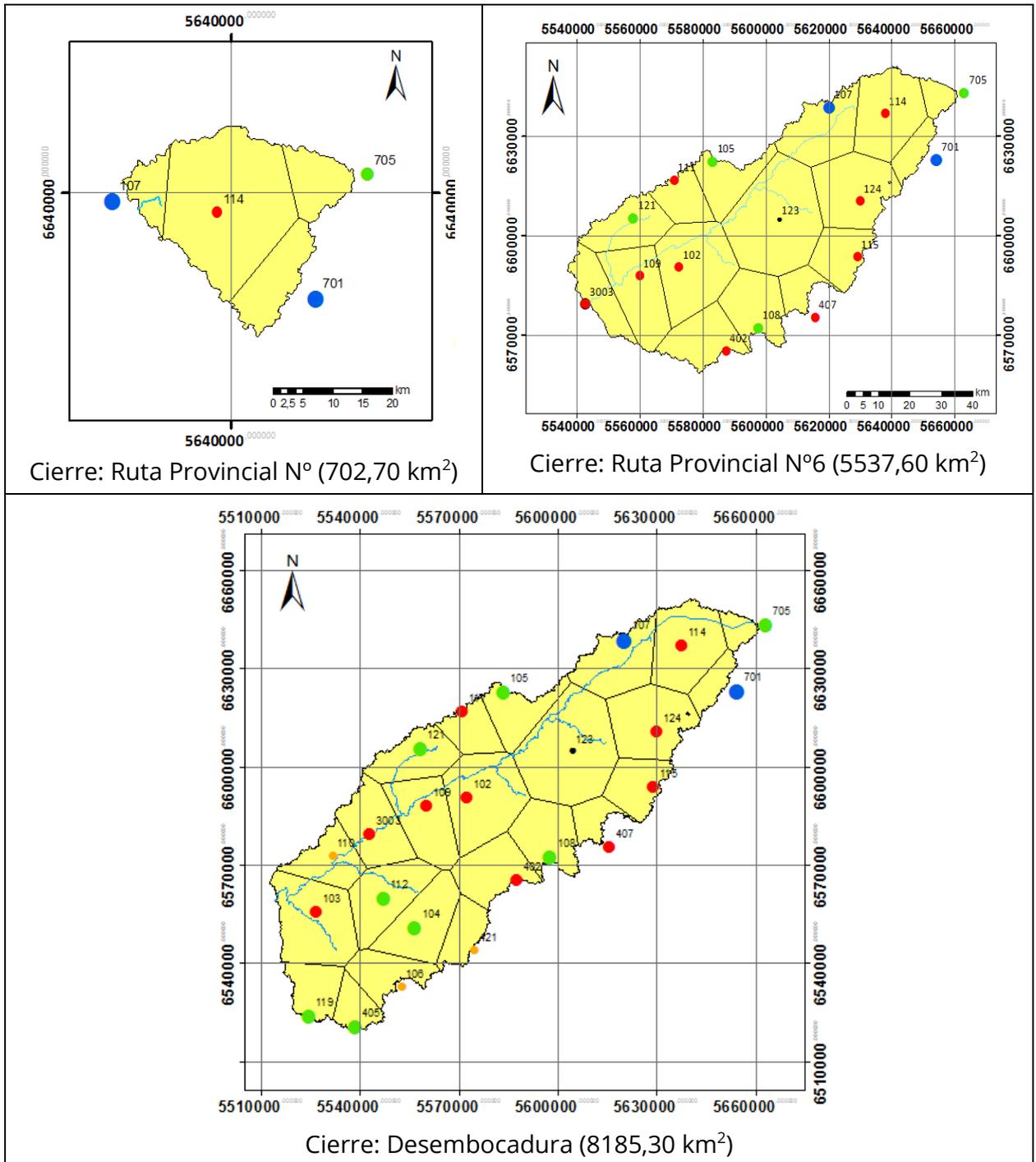


Figura 3.23: Subcuencas arroyo Feliciano y Polígonos de Thiessen.

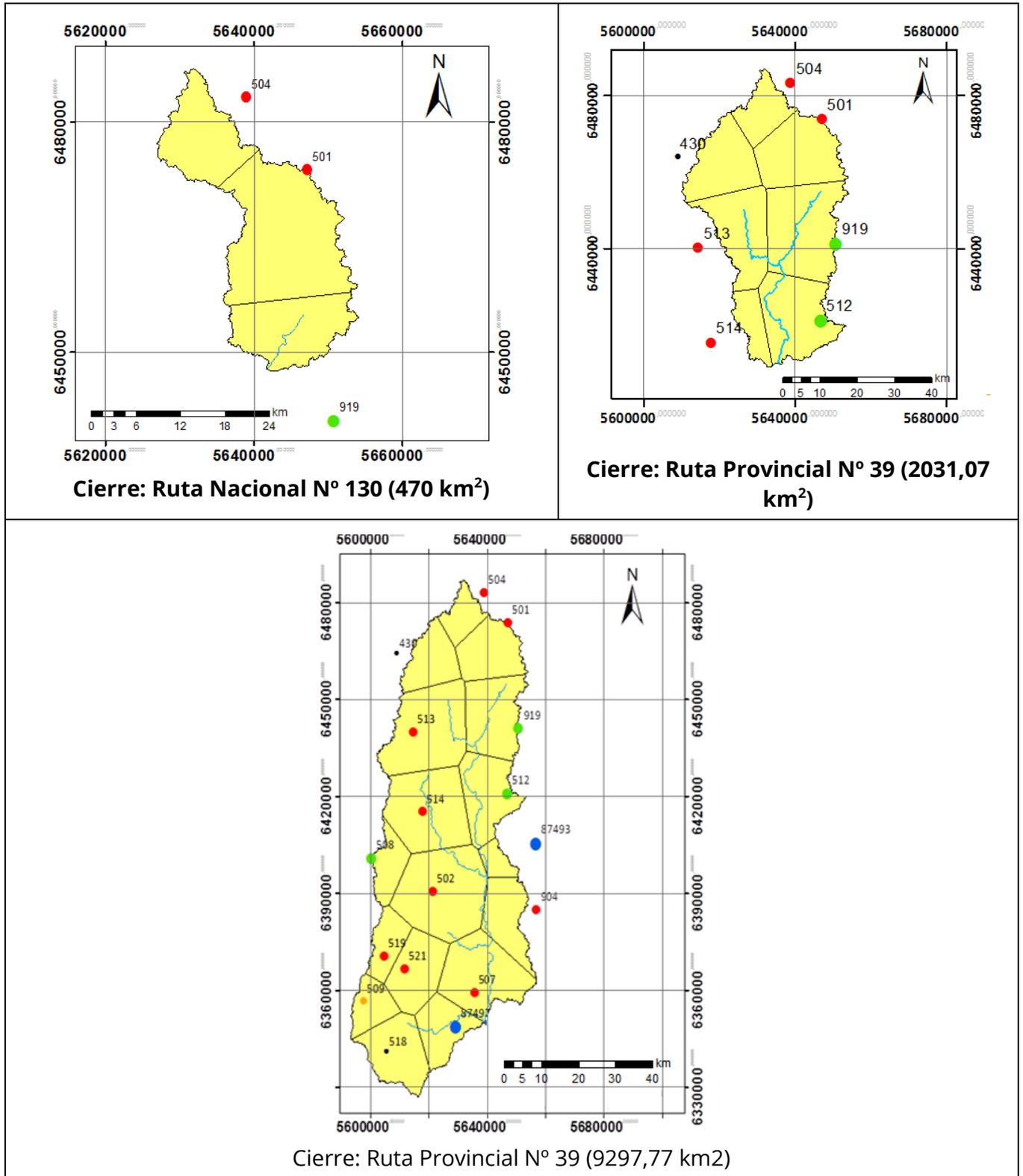


Figura 3.24: Subcuencas río Gualeguaychú y Polígonos de Thiessen.

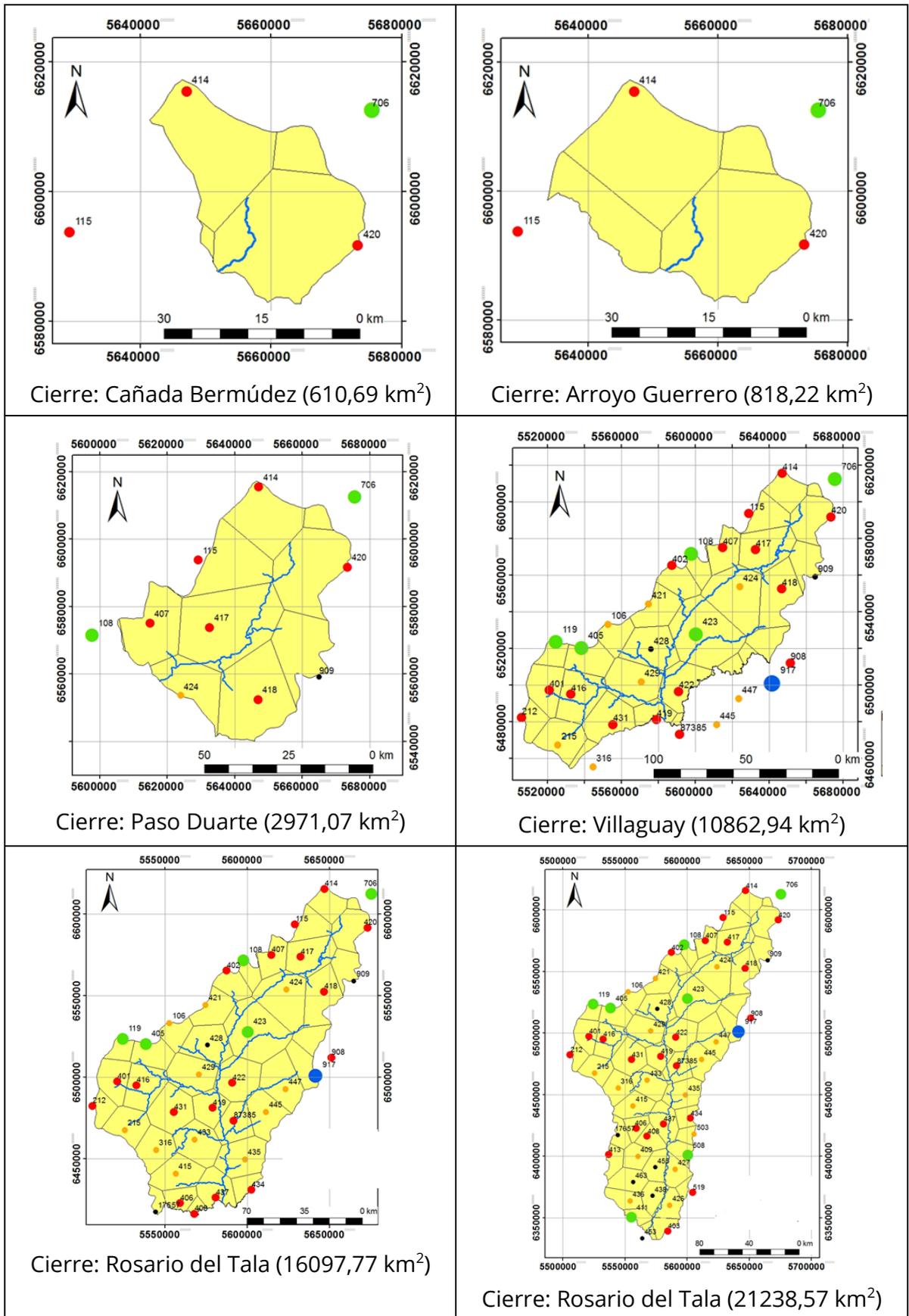


Figura 3.25: Subcuencas río Gualaguay y Polígonos de Thiessen.

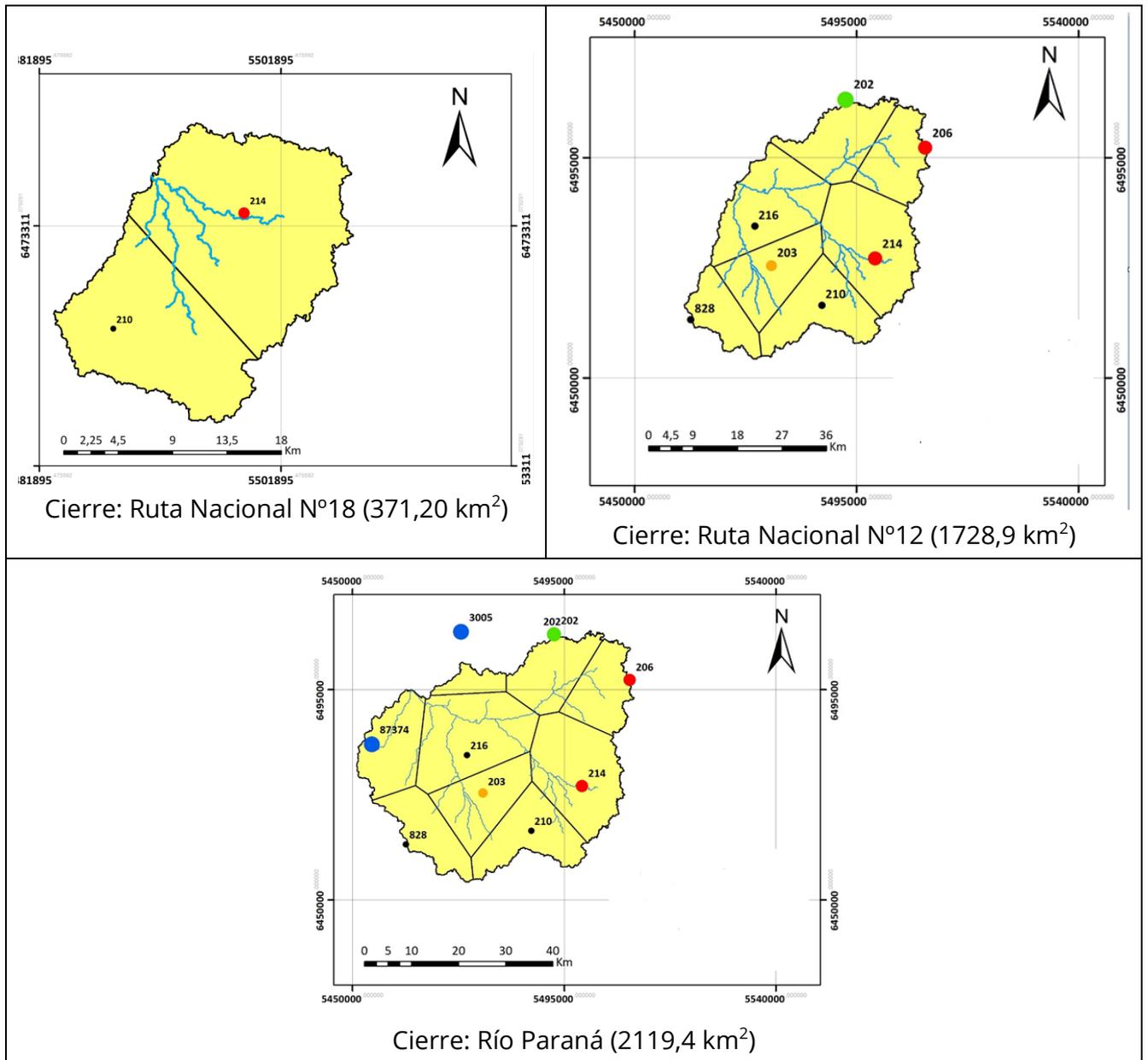


Figura 3.26: Subcuencas arroyo Las Conchas y Polígonos de Thiessen.

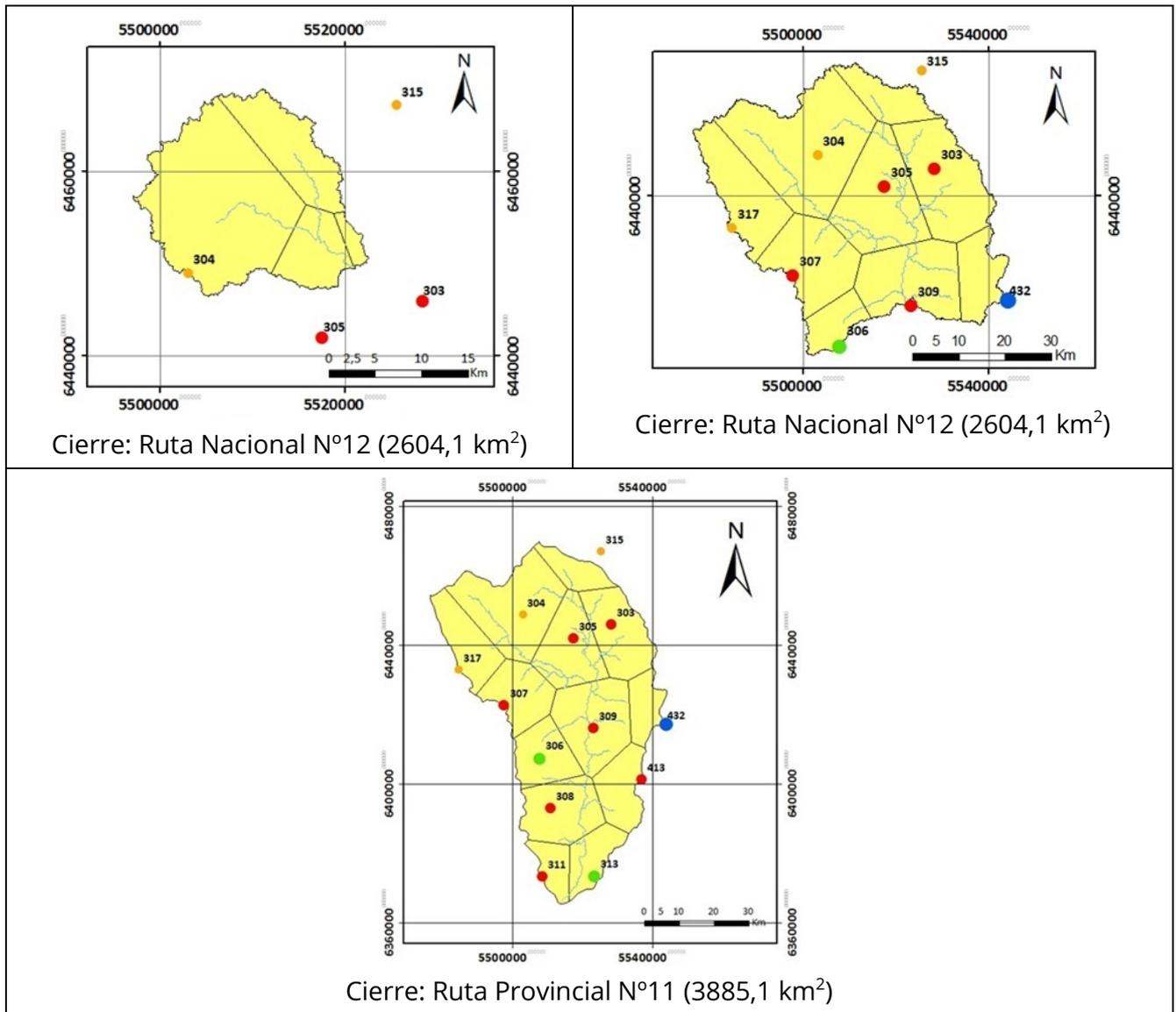


Figura 3.27: Subcuencas arroyo Nogoyá y Polígonos de Thiessen.

3.3.3 DURACIONES DE LAS PRECIPITACIONES

3.3.3.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración t_c de una cuenca se define usualmente como el tiempo requerido por una parcela de escorrentía para desplazarse desde la parte hidráulicamente más distante hacia su descarga. Es decir, el tiempo para el cual toda la cuenca empieza a contribuir (Chow *et al.*, 1994). No es posible definir un punto y suponer acertadamente que desde ese lugar se mide el t_c . Tampoco, entonces, se lo puede medir. En vez de ello, el concepto es útil a los fines de

describir el tiempo de respuesta de la cuenca a un impulso de conducción, de escurrimiento.

Se supone que en un tiempo de duración de una tormenta evaluado como el período de mayor intensidad incluido dentro del aguacero e igual a t_c , toda la cuenca contribuye al punto de descarga (Témez, 2003). En las aplicaciones de la ingeniería, si una tormenta durara más tiempo que el tiempo de concentración, la intensidad de ella sería menor y el pico de descarga consecuente no sería el mayor u óptimo para un diseño. En cambio, si el tiempo de la tormenta fuera menor, entonces no toda la cuenca habría de contribuir y tampoco se alcanzaría ese valor pico óptimo (Thompson, 2006).

Para estimar el t_c de las subcuencas se analizó la aplicabilidad de las siguientes formulaciones desarrolladas:

3.3.3.1.1 Ecuaciones derivadas de las investigaciones de Graf *et al.* 1982

Uno de los ensayos de campo cuyas ecuaciones resultantes han sido ampliamente consultados para la estimación de los tiempos de concentración en cuencas es el de Graf *et al.* (1982). En esta investigación se compuso una variable integrada por el tiempo de concentración (t_c) y el coeficiente de almacenamiento (R), o retardo que la cuenca impone a la escorrentía superficial (Clark *et al.*, 1945), y se la relacionó con la longitud y pendiente del cauce aplicando técnicas de regresión lineal múltiple a los resultados de 98 cuencas calibradas en el estado de Illinois.

La mayor dificultad de este procedimiento es que requiere la adopción de un coeficiente que afecta a t_c y R conjuntamente; este procedimiento se consideró poco confiable, por cuanto adoptar valores de t_c y R para las subcuencas en base a la información disponible era una solución factible, mas no óptima.

En un estudio posterior del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2000) que se basa en la aplicación de la metodología de Graf *et al.* se concluye en que se pueden hallar los valores de t_c independientemente de este coeficiente y de R. Su ecuación es, entonces, la (2):

$$t_c = 1,74 \cdot L^{0,875} \cdot S^{-0,181} \quad (2)$$

Donde:

t_c : tiempo de concentración en horas.

L : longitud del escurrimiento medida sobre el cauce principal en millas.

S : pendiente de cauce principal en pies/milla.

3.3.3.1.2 Fórmula de Kirpich

La ecuación (3) de Kirpich fue desarrollada a partir de información del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) en función de resultados sobre 7 cuencas rurales de Tenesse con canales bien definidos y pendientes del 3 al 10% (Kirpich *et al.*, 1940).

$$t_c = \left(0,87 \times \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (3)$$

Donde:

t_c : tiempo de concentración en horas.

L : longitud del cauce principal en kilómetros.

ΔH : diferencia de elevación en metros entre el punto más alejado de la cuenca y la salida.

Se calcularon los tiempos de concentración para cada subcuenca con las dos expresiones analizadas y los resultados hallados con las formulaciones derivadas de las investigaciones de Graf y de Kirpich fueron aproximadamente del mismo orden. En función de lo último, un análisis de ambos trabajos y las características

propias de las cuencas para las cuales fueron realizados, se consideró que la ecuación de Kirpich fue desarrollada sobre cuencas de mayor parecido al de las subcuencas de este trabajo, siendo en ambas cuencas sus cauces bien definidos una característica principal definitoria. Finalmente, los tiempos de concentración resultantes de la aplicación de la ecuación de Kirpich se sintetizan en la **Tabla 3.5**:

Tabla 3.5: Tiempos de concentración de las subcuencas.

Subcuenca	tc
	Horas
Arroyo Feliciano. Cierre: RP N°6	71,56
Arroyo Feliciano. Cierre: RP N°2	25,26
Arroyo Feliciano. Cierre: Desembocadura	75,81
Río Gualedguaychú. Cierre: Ciudad	56,44
Río Gualedguaychú. Cierre: RP N°39	37,12
Río Gualedguaychú. Cierre: RP N°130	20,05
Río Gualedguay. Cierre: Cañada Bermúdez	19,10
Río Gualedguay. Cierre: Arroyo Guerrero	19,10
Río Gualedguay. Cierre: Paso Duarte	52,45
Río Gualedguay. Cierre: Villaguay	104,40
Río Gualedguay. Cierre: Rosario del Tala	142,03
Río Gualedguay. Cierre: Paso Alonso	181,82
Río Gualedguay. Cuenca total	199,56
Arroyo Las Conchas. Cierre: Rio Paraná	17,99
Arroyo Las Conchas. Cierre: RNN°12	14,47
Arroyo Las Conchas. Cierre: RNN°18	18,0
Arroyo Nogoyá. Cierre: RP N°11	47,55
Arroyo Nogoyá. Cierre: RN N°12	32,20
Arroyo Nogoyá. Cierre: RP N°34	8,60

3.3.3.2 DURACIONES ADOPTADAS

Para cada pluviómetro ficticio se calcularon las series de precipitaciones máximas medias areales anuales para el año hidrológico septiembre-agosto,

fijando duraciones de lluvia de hasta cuatro veces el t_c de las subcuencas de modo de asegurar el aporte de la totalidad del área de cada una de ellas.

En función de los t_c calculados se adoptaron duraciones de tormenta de 1, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 días para la generación de las series de precipitaciones medias areales máximas anuales (PMAMA) en las subcuencas delimitadas.

3.4 ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Se realizó el análisis de frecuencia de las series de las PMAMA para distintas duraciones aplicando el modelo AFMULTI. Se establecieron como recurrencias de interés: 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años de recurrencia.

Mediante el programa se analizaron los ajustes de las distintas funciones de distribución de probabilidad teórica a las series de datos de las estaciones pluviométricas ficticias: Log Gauss, Gumbel, General de Valores Extremos (GEV), Pearson, Log Pearson y Exponencial y se calcularon los valores de la variable maximizados para las recurrencias de interés.

La adopción de la función de distribución que mejor representó a la serie para la extrapolación probabilística se realizó en base a un análisis de la bondad de ajuste evaluando los resultados de los tests de Chi-Cuadrado y Kolmogorov, los errores cuadráticos medios de la frecuencia (ECMF) y de la variable (ECMV). Además, se consideró el análisis gráfico de las funciones de distribución versus la frecuencia experimental.

Se adoptó la función GEV como la más representativa ya que al observar los tests generalizados de bondad de ajuste de esta distribución, resultó GEV la de menores errores en coincidencia con los estudios de Zamanillo *et al.* (2008) donde la función GEV resultó la de mejor ajuste local y regional de las precipitaciones en Entre Ríos.

3.5 CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IDF

Como resultado del análisis de frecuencias de las series para distintas duraciones desarrollado en párrafos anteriores, se obtuvieron los valores de precipitación media máxima areal para distintas recurrencias de interés.

Con el objeto de representar la relación entre la intensidad de dicha precipitación en un determinado período de tiempo y su frecuencia estadística de recurrencia, se generaron las curvas de Intensidad-Duración-Recurrencia (IDF).

Los valores de precipitación de 24 hs independiente de la hora de medición se obtuvieron afectando los resultados del modelo AFMULTI por un coeficiente de RT a través de las ecuaciones (4) y (5).

$$P_{n \text{ horas}} = RT_n \times P_{\text{máx diaria}} \quad (4)$$

$$RT_n = 1 + \frac{(RT - 1)}{n} \quad (5)$$

Donde:

RT_n : relación entre la precipitación de 24 y n horas de duración.

RT : coeficiente de corrección.

n : días.

El coeficiente RT incorporó la diferencia entre el día pluviométrico y mediciones pluviográficas de 24 hs de duración que pudieran estar desfasadas del día pluviométrico (Figura 3.28) (Zamanillo et al., 2008).

Localidad	RT
Concordia	1.16
Concepción del Uruguay	1.14
Paraná	1.15

Figura 3.28: Zamanillo et al (2008). "Relaciones RT de los pluviógrafos provinciales". Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos.

A cada subcuenca se le atribuyó el mismo patrón de distribución temporal de la lámina total precipitada, siendo éste el valor promedio de 1,15 y en la Tabla 3.6 se listan los valores resultantes de aplicar la ecuación [3.7.4]:

Tabla 3.6: Relación entre la precipitación de 24 y n horas de duración

n	RT _n
1	1,15
2	1,08
4	1,04
6	1,03
8	1,02
10	1,02
12	1,01

3.6 CURVAS DE DECAIMIENTO AREAL

Las precipitaciones locales son válidas para un radio de pocos kilómetros, en Bacchiega et al. (2004) se asume que una precipitación puede considerarse homogénea en un área de 25 km² en torno a la estación base.

La precipitación media en superficies mayores difiere del máximo local, es por ello que habitualmente en los estudios hidrológicos se suele estimar la precipitación de diseño a partir de estos valores máximos locales afectados de un coeficiente de decaimiento areal (CDA) que es función del área de la cuenca y la duración de la tormenta. Una de las relaciones de mayor aplicación son las curvas de la Organización Meteorológica Mundial, desarrolladas en Estados Unidos en el año 1958, pero existen estudios en distintos sitios del mundo donde estas curvas difieren de acuerdo a características meteorológicas y topográficas de cada zona. Por otro lado, las mencionadas curvas son limitadas; fueron desarrolladas para áreas menores a 600 km², teniendo un comportamiento constante para superficies mayores en caso de precipitaciones de más de un día de duración.

Considerando las limitaciones en la aplicación de las curvas y que las mismas fueron desarrolladas en regiones con diferentes características climatológicas a las

de nuestra región se han llevado a cabo en nuestro país estudios para la determinación de CDA para alguna zona en particular (García et al., 2000; Catalini, 2001; Catalini et al., 2002) con la finalidad de obtener valores de mayor precisión.

En el presente estudio, contando con datos pluviométricos recopilados y tratados, ha sido de interés la determinación de los CDA con alcance a las cuencas extensas de la provincia.

Para las subcuencas analizadas se evaluaron las PMA en una estación base que se consideró el epicentro o núcleo del evento. Para la elección de este núcleo se identificó en la base de datos espacial el mayor evento registrado en el pluviómetro ficticio para cada duración y la fecha en que se produjo el mismo. Posteriormente, se localizó esa fecha en el registro de datos de la red pluviométrica de la subcuenca y la estación donde se registró la máxima precipitación fue adoptada como la estación núcleo. El procedimiento se aplicó en cada subcuenca y para cada una de las duraciones evaluadas (1, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 días). Sobre la serie de precipitaciones de la estación puntual se realizó el análisis de frecuencias.

El CDA se obtuvo como la relación entre la PMA y la precipitación registrada en la estación núcleo para cada una de las duraciones y áreas de subcuencas (A). Con base en los pares de valores CDA-A se procedió al ajuste de la función tipo logarítmica para cada una de las duraciones analizadas.

Considerando todos los CDA calculados para cada una de las cinco cuencas analizadas se determinaron curvas de decaimiento areal promedios para la provincia de Entre Ríos, utilizando curvas de correlación logarítmicas.

Estas curvas promedio se calcularon para 1, 2, 4, 8 y 12 días de duración para distintas recurrencias de eventos analizadas, debido a que se verifica una incidencia en el aumento de los CDA de la precipitación también con el aumento de la recurrencia del evento analizado.

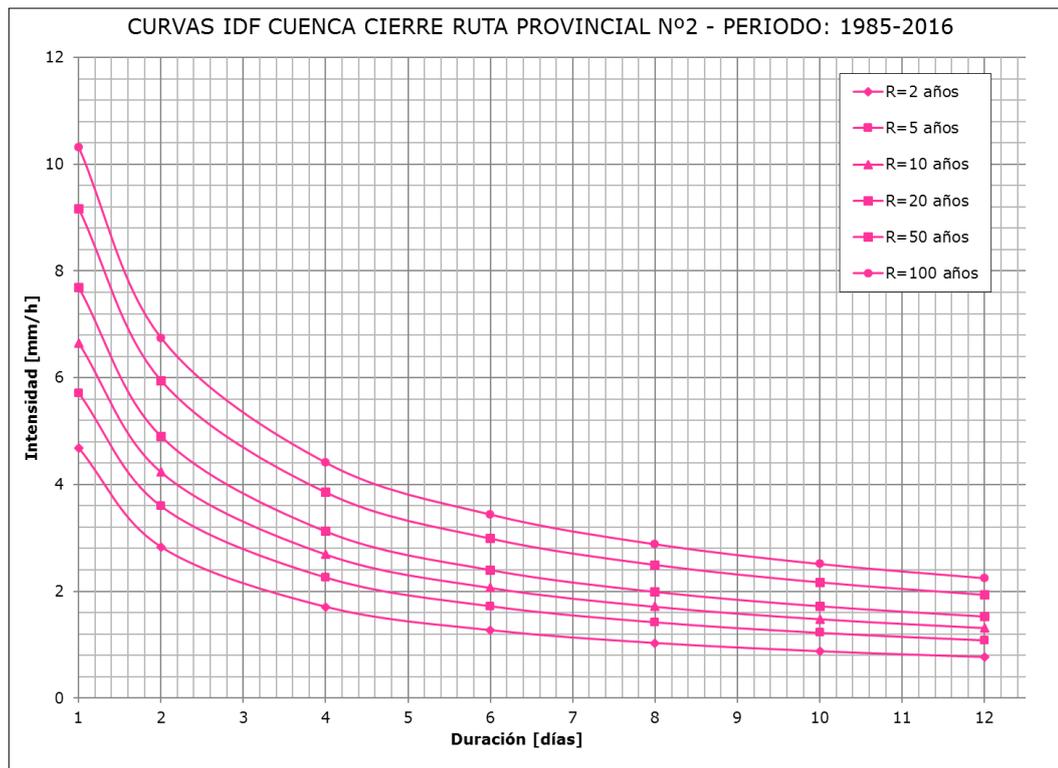
Se realizó además un análisis comparativo de las curvas de decaimiento areal de 24 hs de duración obtenidas para distintas recurrencias y la curva de la OMM para la misma duración, pudiéndose observar que para grandes superficies no hay correspondencia entre los valores obtenidos para Entre Ríos y la curva de OMM. Por ejemplo, para 24 hs de duración en todas las recurrencias analizadas, los CDA calculados se encuentran entre 0,45 y 0,65 para áreas de 20.000 km², cuando para esta situación las curvas de la OMM señalarían valores levemente superiores a 0,9.

4 RESULTADOS

4.1 CURVAS IDF

4.1.1 CUENCA ARROYO FELICIANO

4.1.1.1 CIERRE EN RUTA PROVINCIAL N°2 (PASO CORREA)



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{925.29}{(d + 1.56)^{0.727}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{741.15}{(d + 1.55)^{0.669}}$$

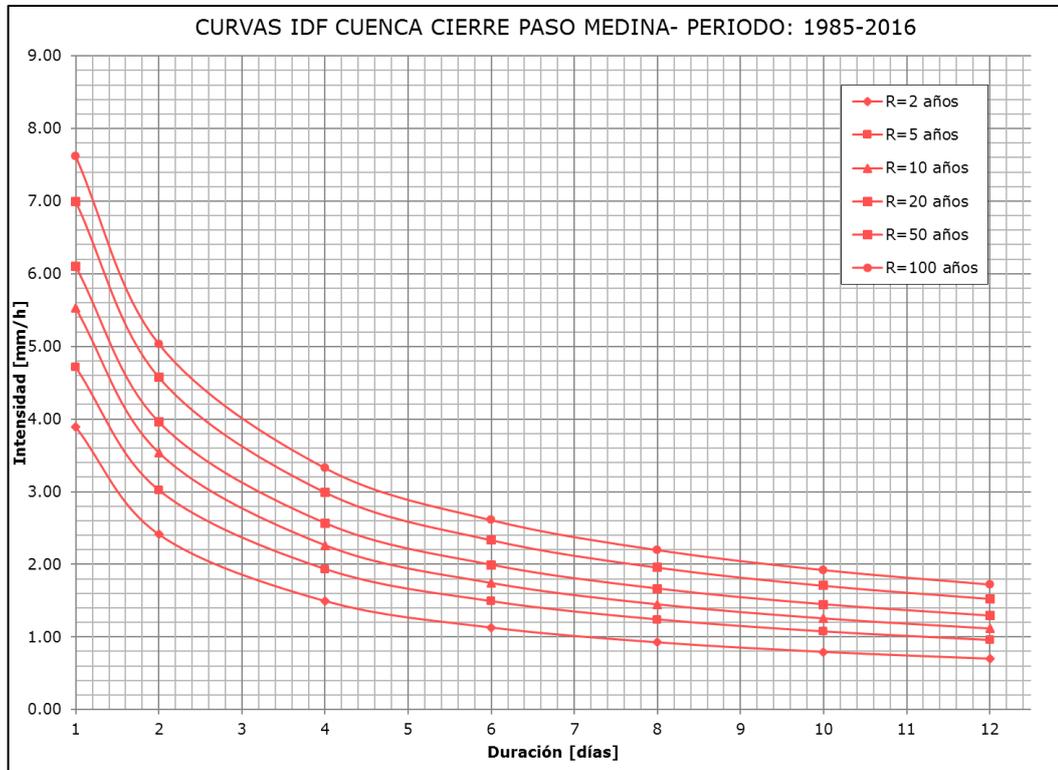
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{768.27}{(d + 1.56)^{0.653}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{875.18}{(d + 1.56)^{0.651}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{894.57}{(d + 1.47)^{0.629}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{890.81}{(d + 1.56)^{0.613}}$$

4.1.1.2 CIERRE EN RUTA PROVINCIAL N°6 (PASO MEDINA)



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{592.60}{(d + 1.55)^{0.691}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{506.24}{(d + 1.56)^{0.643}}$$

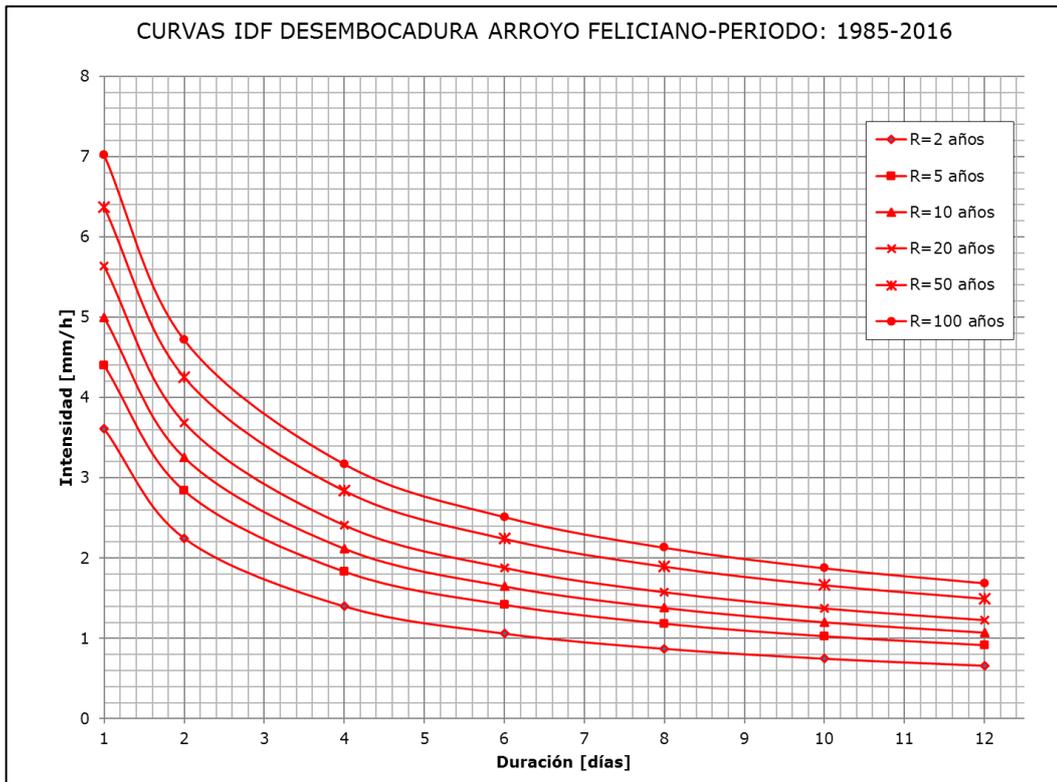
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{601.99}{(d + 1.55)^{0.645}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{575.13}{(d + 1.56)^{0.625}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{604.52}{(d + 1.49)^{0.613}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{590.19}{(d + 1.46)^{0.598}}$$

4.1.1.3 CIERRE EN DESEMBOCADURA



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{522.81}{(d + 1.56)^{0.684}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{439.50}{(d + 1.54)^{0.633}}$$

$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{451.06}{(d + 1.56)^{0.619}}$$

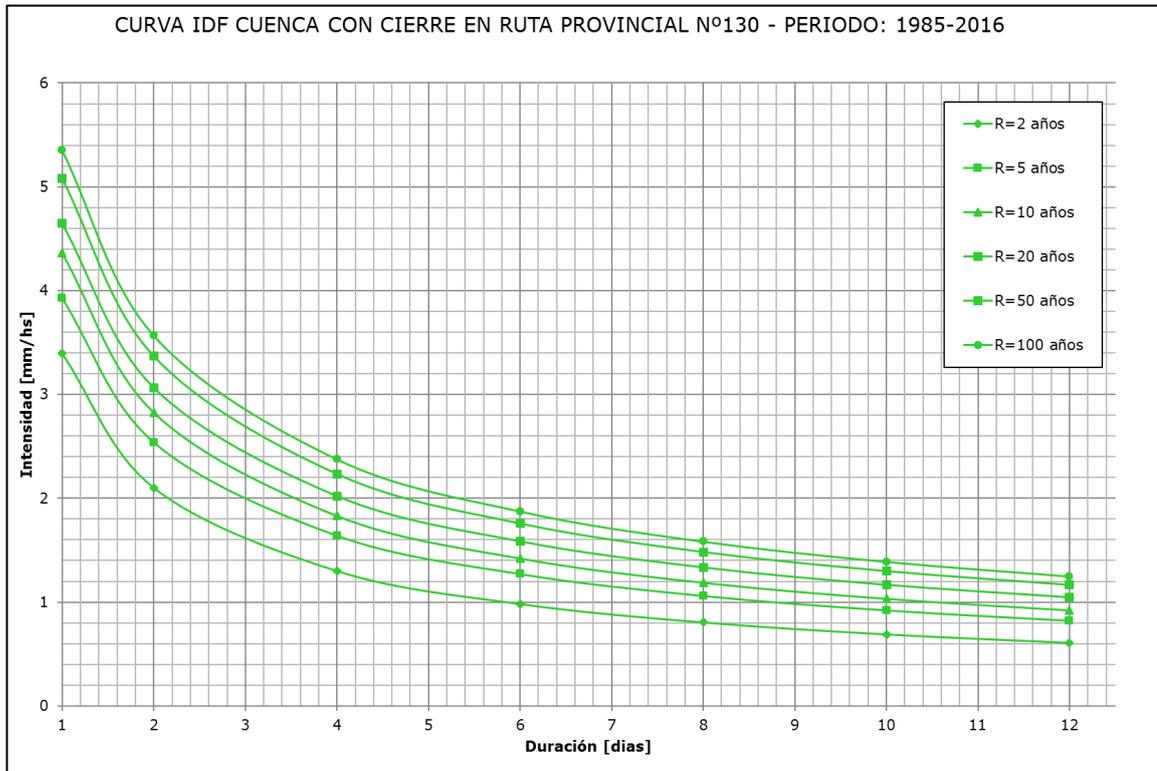
$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{486.53}{(d + 1.54)^{0.613}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{442.24}{(d + 1.56)^{0.583}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{457.01}{(d + 1.55)^{0.574}}$$

4.1.2 CUENCA RÍO GUALEGUAYCHÚ

4.1.2.1 CIERRE EN RUTA PROVINCIAL N°39



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{526.01}{(d + 1.55)^{0.693}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{384.20}{(d + 1.56)^{0.63}}$$

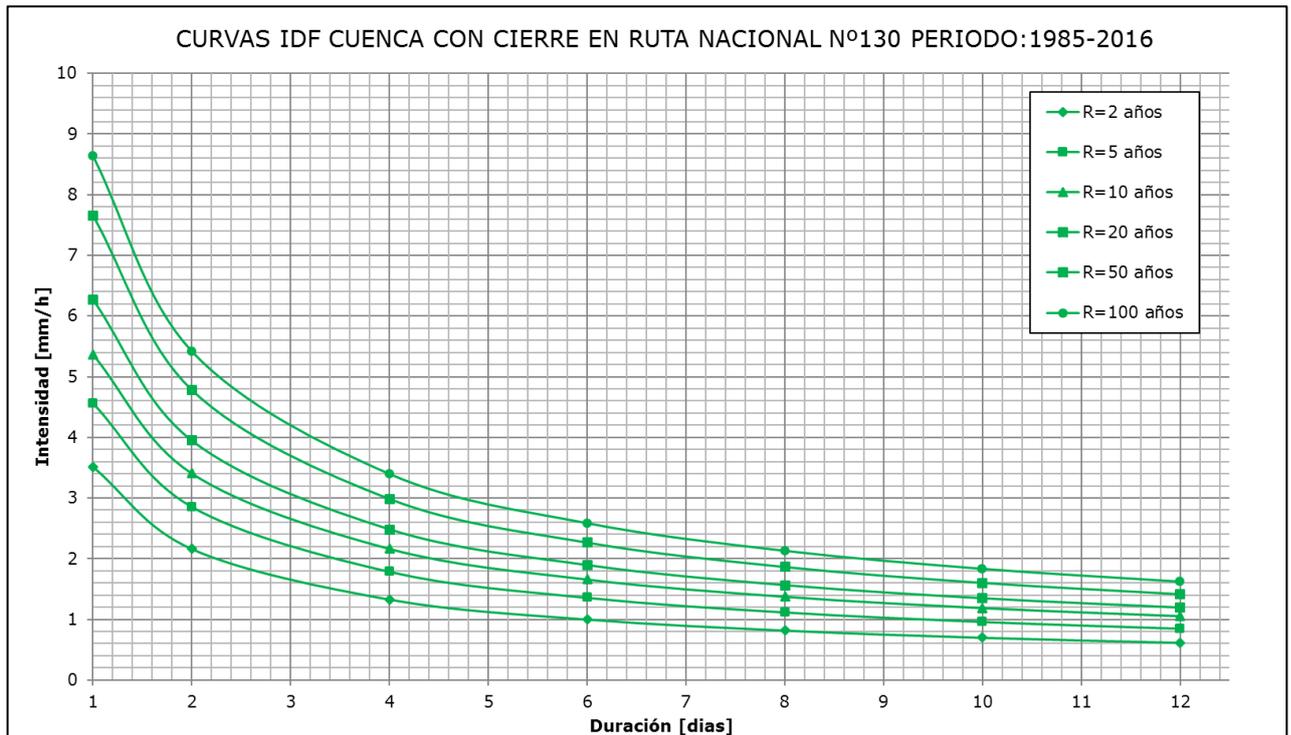
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{417.27}{(d + 1.55)^{0.627}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{367.80}{(d + 1.56)^{0.601}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{379.46}{(d + 1.56)^{0.593}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{380.01}{(d + 1.55)^{0.586}}$$

4.1.2.2 CIERRE EN RUTA NACIONAL N°130



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{584.04}{(d + 1.56)^{0.703}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{622.96}{(d + 1.56)^{0.676}}$$

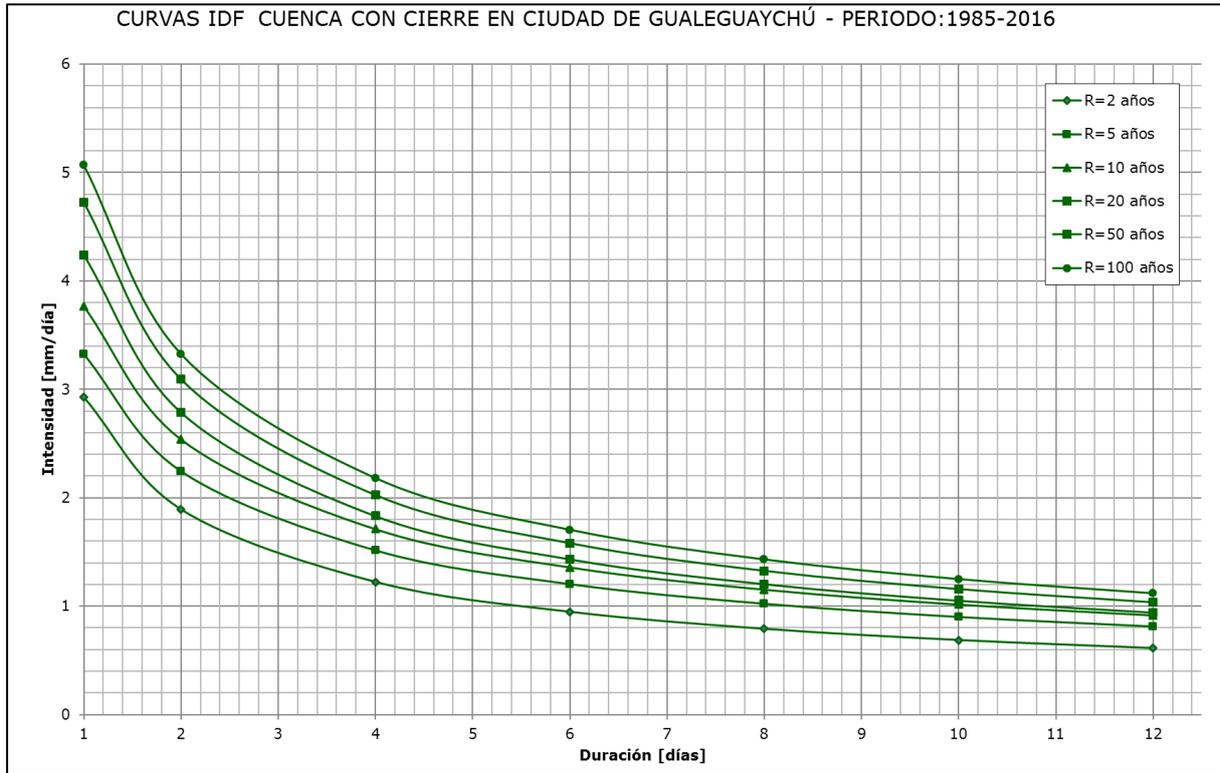
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{638.43}{(d + 1.56)^{0.657}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{813.94}{(d + 1.56)^{0.669}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{1076.15}{(d + 1.56)^{0.68}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{1162.11}{(d + 1.56)^{0.674}}$$

4.1.2.3 CIERRE EN CIUDAD DE GUALEGUAYCHÚ



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{286.55}{(d + 1.56)^{0.63}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{205.34}{(d + 1.56)^{0.567}}$$

$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{238.11}{(d + 1.56)^{0.57}}$$

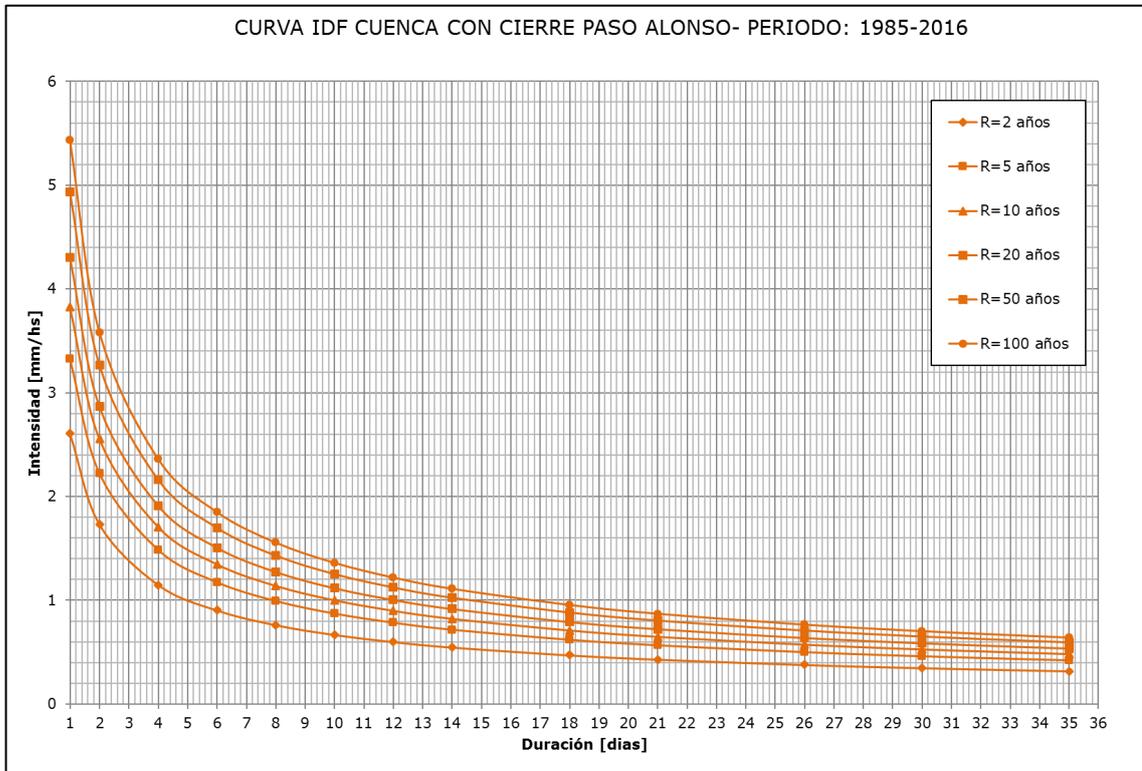
$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{345.44}{(d + 0.47)^{0.605}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{405.33}{(d + 1.56)^{0.612}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{425.56}{(d + 1.56)^{0.609}}$$

4.1.3 CUENCA RÍO GUALEGUAY

4.1.3.1 CIERRE EN PASO ALONSO



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{193.48}{(d + 3.01)^{0.592}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{229.50}{(d + 3.01)^{0.582}}$$

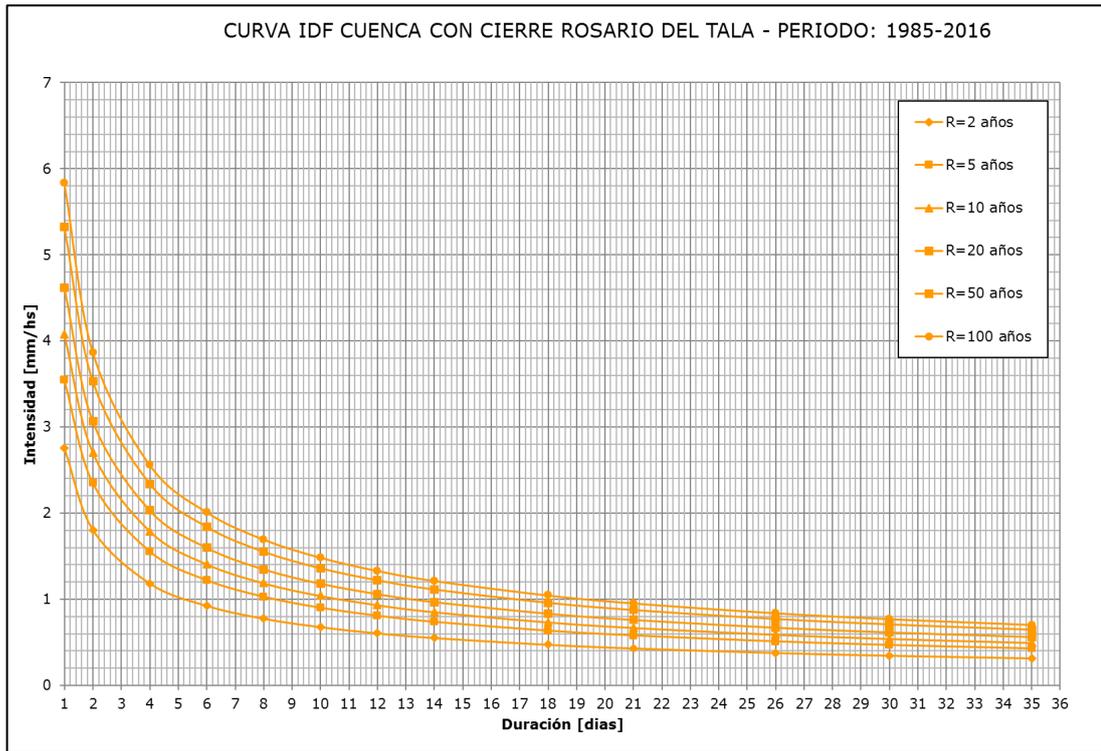
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{265.98}{(d + 3.01)^{0.583}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{305.47}{(d + 3.006)^{0.586}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{377.10}{(d + 3.01)^{0.596}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{433.51}{(d + 3.01)^{0.602}}$$

4.1.3.2 CIERRE EN ROSARIO DEL TALA



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{232.83}{(d + 3.01)^{0.610}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{271.05}{(d + 3.01)^{0.596}}$$

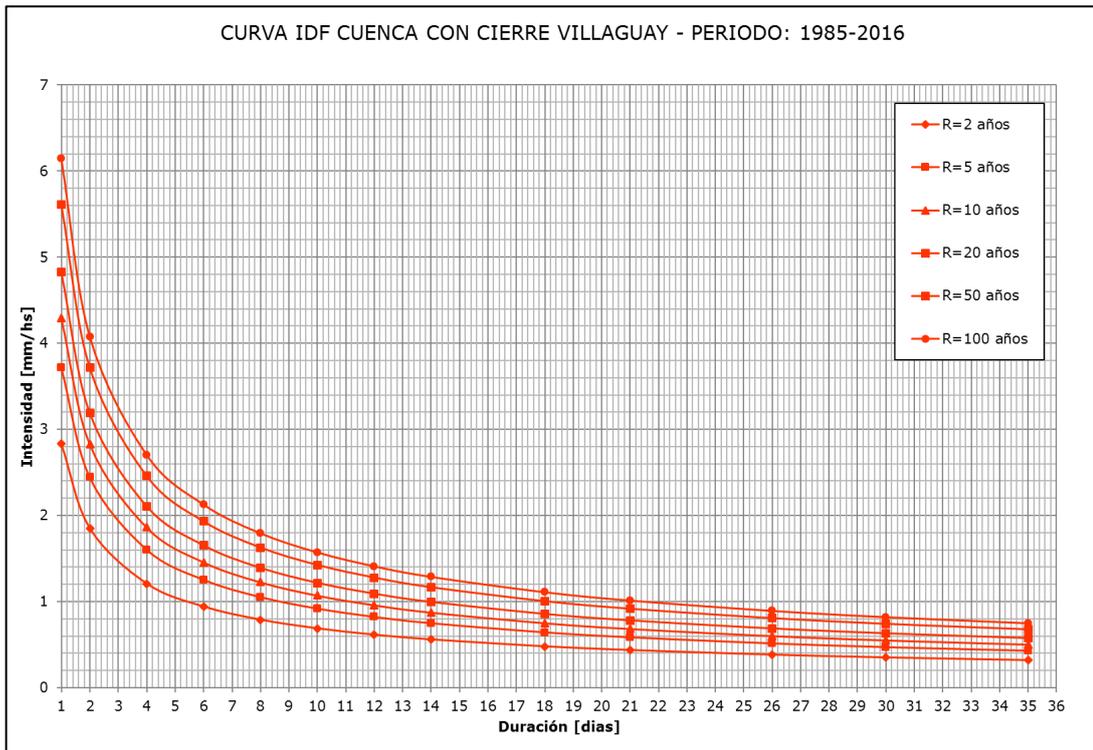
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{306.81}{(d + 3.01)^{0.594}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{345.21}{(d + 3.01)^{0.593}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{397.61}{(d + 3.01)^{0.593}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{442.53}{(d + 3.01)^{0.595}}$$

4.1.3.3 CIERRE EN VILLAGUAY



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{248.26}{(d + 3.01)^{0.615}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{310.16}{(d + 3.01)^{0.608}}$$

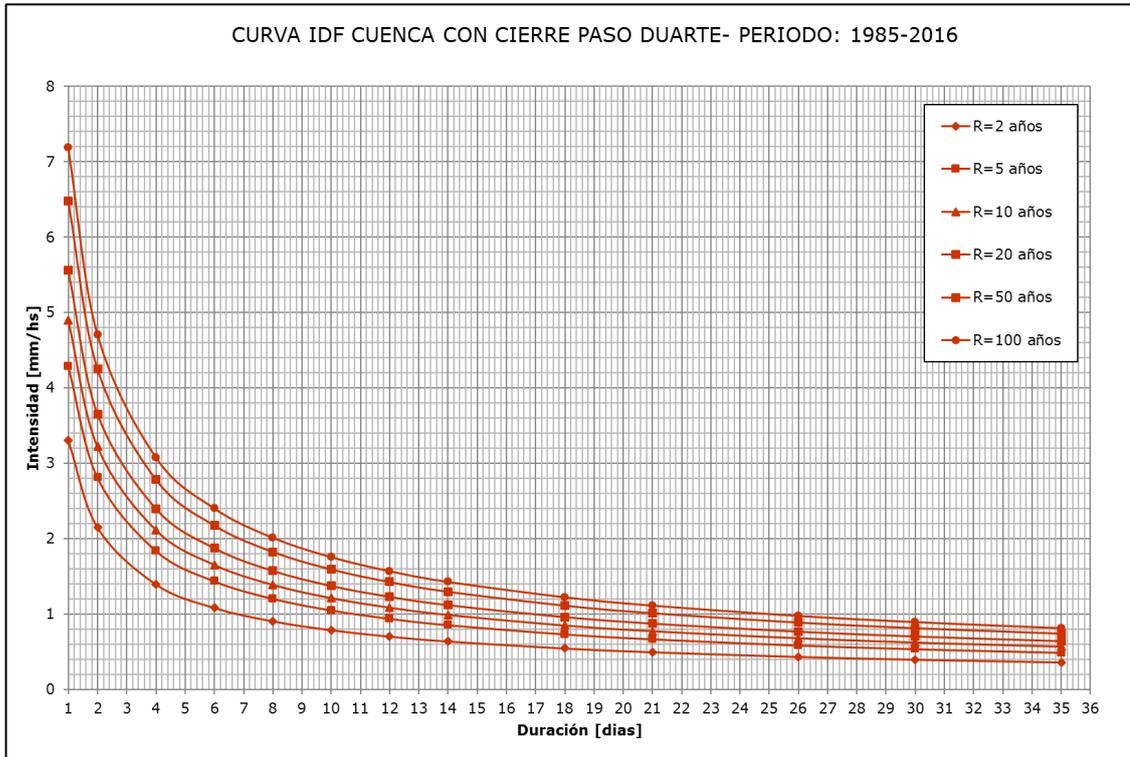
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{344.67}{(d + 3.01)^{0.603}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{376.62}{(d + 3.01)^{0.599}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{428.72}{(d + 3.01)^{0.596}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{459.41}{(d + 3.01)^{0.593}}$$

4.1.3.4 CIERRE EN PASO DUARTE



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{307.67}{(d + 3.01)^{0.623}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{365.58}{(d + 3.01)^{0.611}}$$

$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{405.49}{(d + 3.01)^{0.607}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{460.22}{(d + 3.01)^{0.607}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{543.79}{(d + 3.01)^{0.609}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{616.47}{(d + 3.01)^{0.612}}$$

4.1.3.5 CIERRE EN ARROYO GUERRERO



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{559.86}{(d + 3.01)^{0.679}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{737.53}{(d + 3.01)^{0.676}}$$

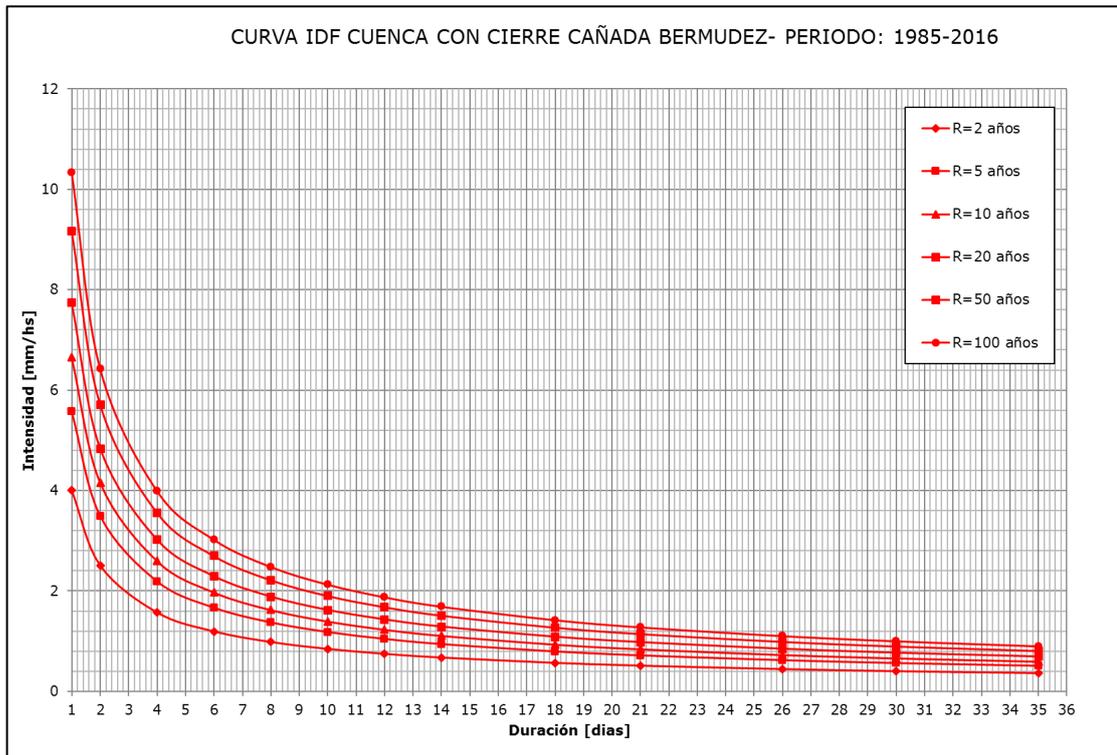
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{861.70}{(d + 3.01)^{0.675}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{1000.52}{(d + 3.01)^{0.678}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{1193.14}{(d + 3.01)^{0.681}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{1330.42}{(d + 3.01)^{0.682}}$$

4.1.3.6 CIERRE EN CAÑADA BERMUDEZ



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{547.41}{(d + 3.01)^{0.676}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{755.86}{(d + 3.01)^{0.675}}$$

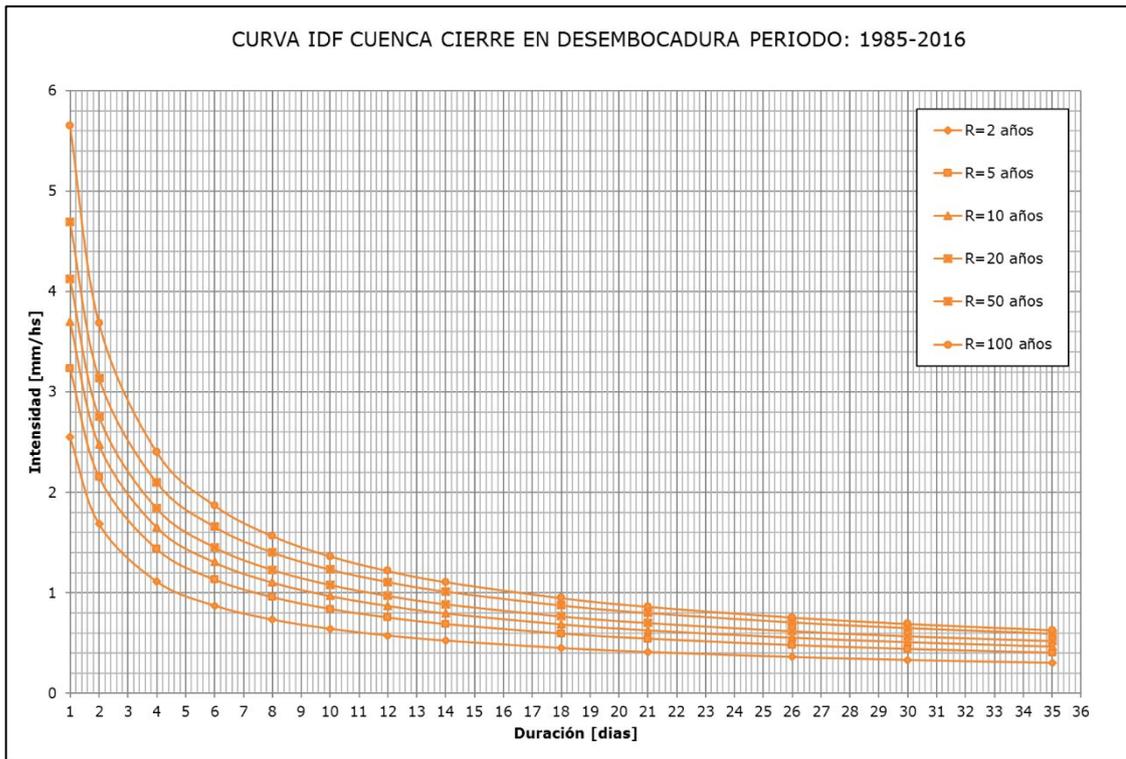
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{929.27}{(d + 3.01)^{0.679}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{1088.94}{(d + 3.01)^{0.680}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{1317.69}{(d + 3.01)^{0.683}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{1529.46}{(d + 3.01)^{0.687}}$$

4.1.3.7 CIERRE EN DESEMBOCADURA



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{199.12}{(d + 3.01)^{0.599}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{231.50}{(d + 3.01)^{0.587}}$$

$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{255.39}{(d + 3.01)^{0.582}}$$

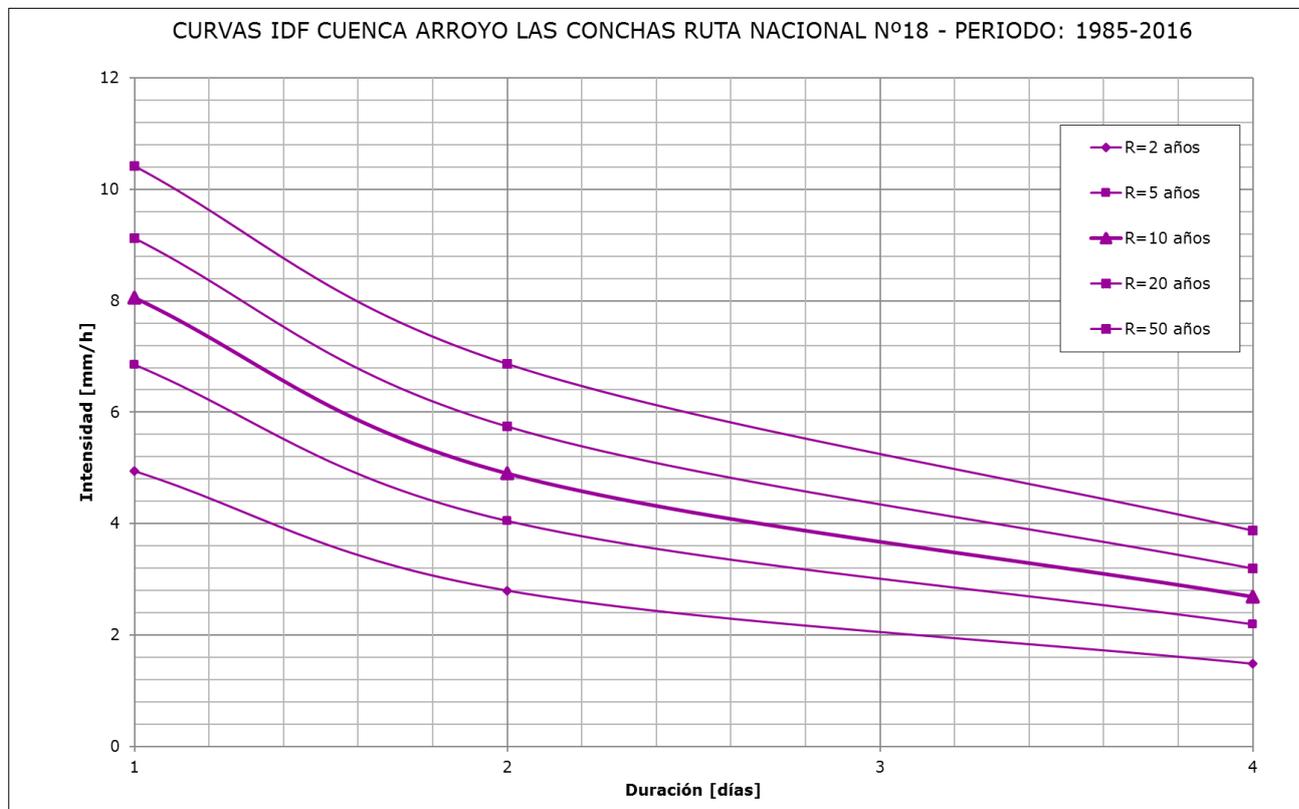
$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{286.62}{(d + 3.01)^{0.583}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{321.36}{(d + 3.01)^{0.581}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{506.65}{(d + 3.01)^{0.687}}$$

4.1.4 CUENCA ARROYO LAS CONCHAS

4.1.4.1 CIERRE RUTA PROVINCIAL N°18



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{1035.33}{(d + 2.26)^{0.735}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{1408.57}{(d + 4.50)^{0.729}}$$

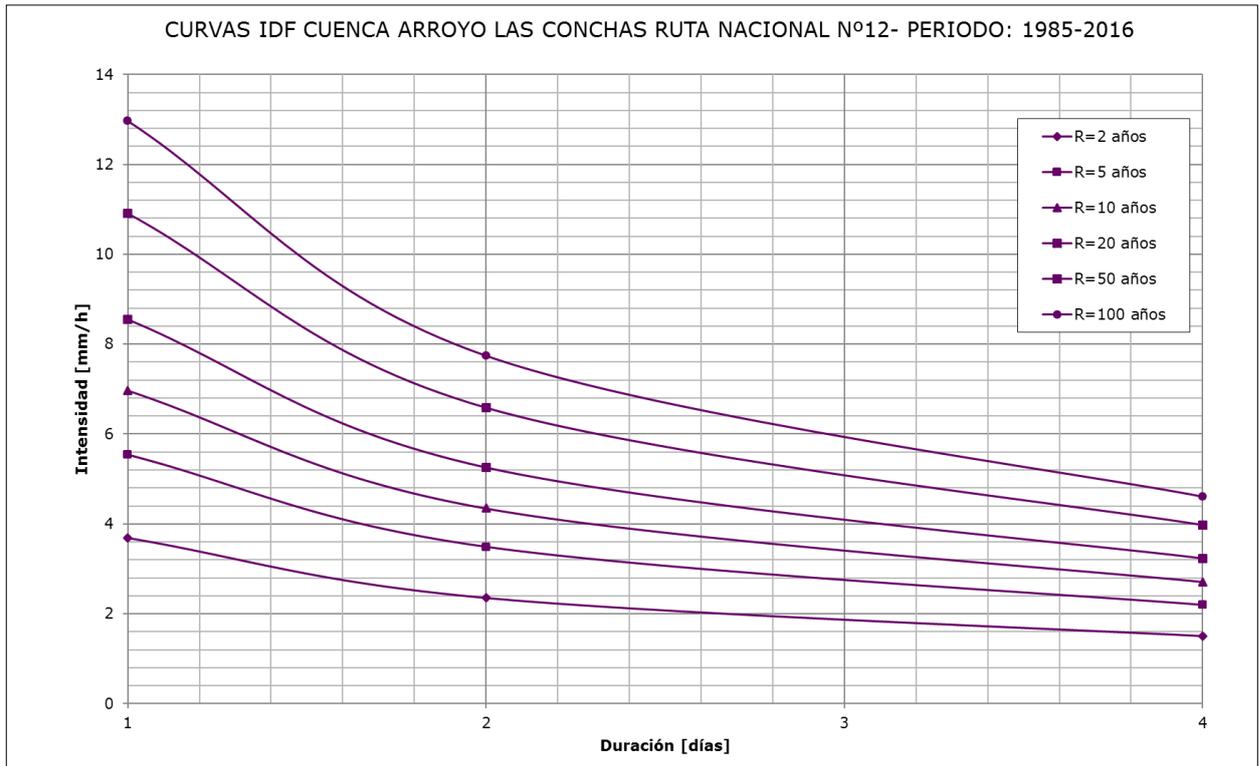
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{1648.19}{(d + 4.52)^{0.725}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{1361.60}{(d + 3.42)^{0.687}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{2203.80}{(d + 3.39)^{0.721}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{2755.18}{(d + 7.65)^{0.733}}$$

4.1.4.2 CIERRE RUTA NACIONAL N°12



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{424.36}{(d + 4.52)^{0.625}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{708.94}{(d + 4.52)^{0.667}}$$

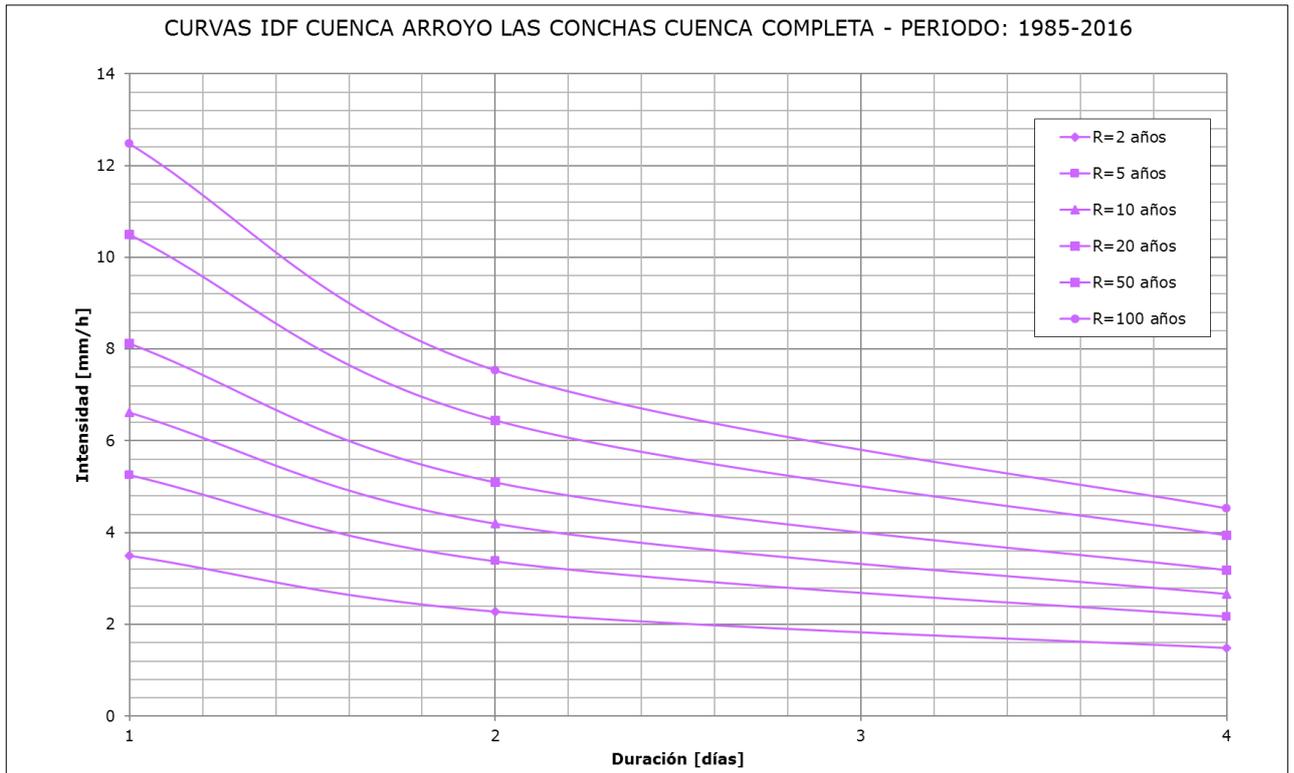
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{1003.53}{(d + 4.50)^{0.683}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{1421.72}{(d + 4.50)^{0.703}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{2193.09}{(d + 4.51)^{0.729}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{3137.59}{(d + 2.53)^{0.753}}$$

4.1.4.3 CIERRE EN DESEMBOCADURA



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{321.14}{(d + 4.52)^{0.621}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{549.56}{(d + 4.52)^{0.639}}$$

$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{793.72}{(d + 4.50)^{0.658}}$$

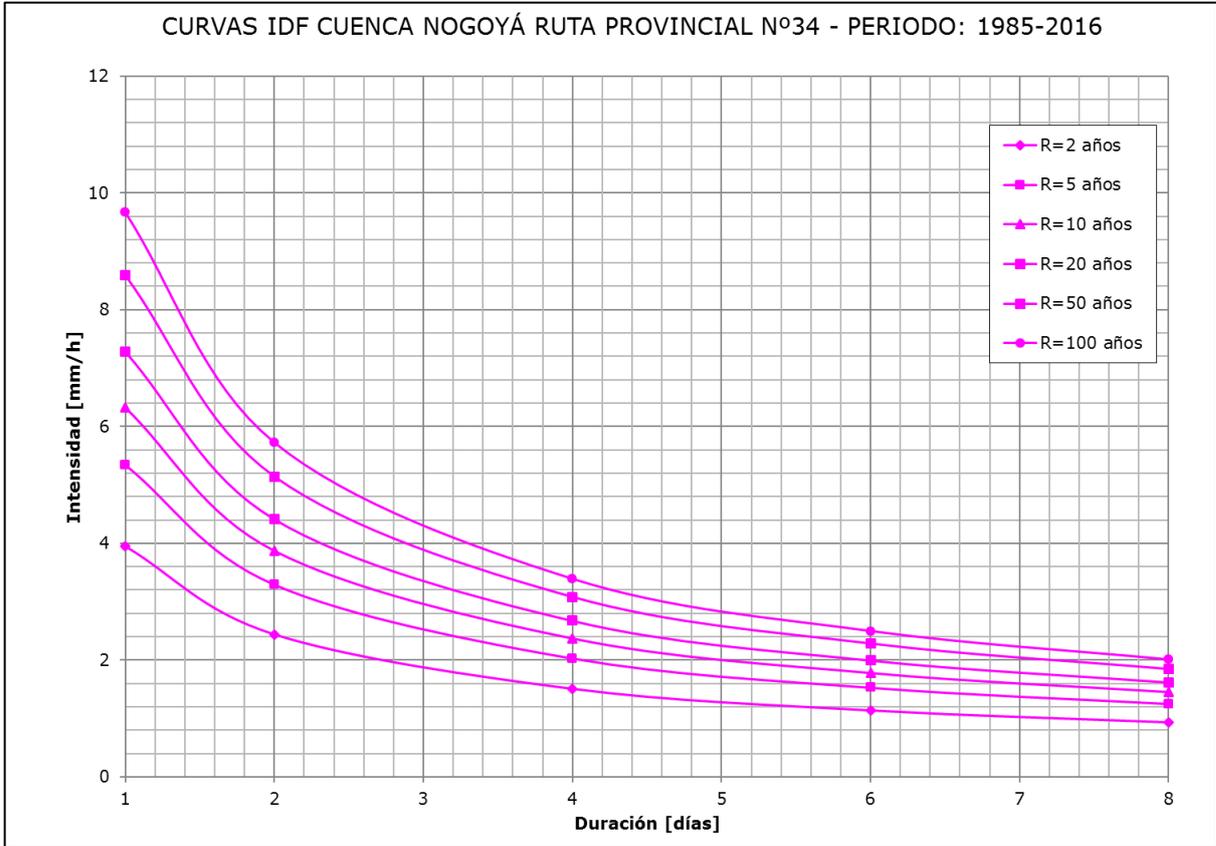
$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{1245.55}{(d + 4.50)^{0.689}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{2019.78}{(d + 4.81)^{0.772}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{2882.33}{(d + 4.81)^{0.745}}$$

4.1.5 CUENCA ARROYO NOGOYÁ

4.1.5.1 CIERRE RUTA PROVINCIAL N°34



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{627.55}{(d + 1.56)^{0.697}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{862.88}{(d + 1.55)^{0.699}}$$

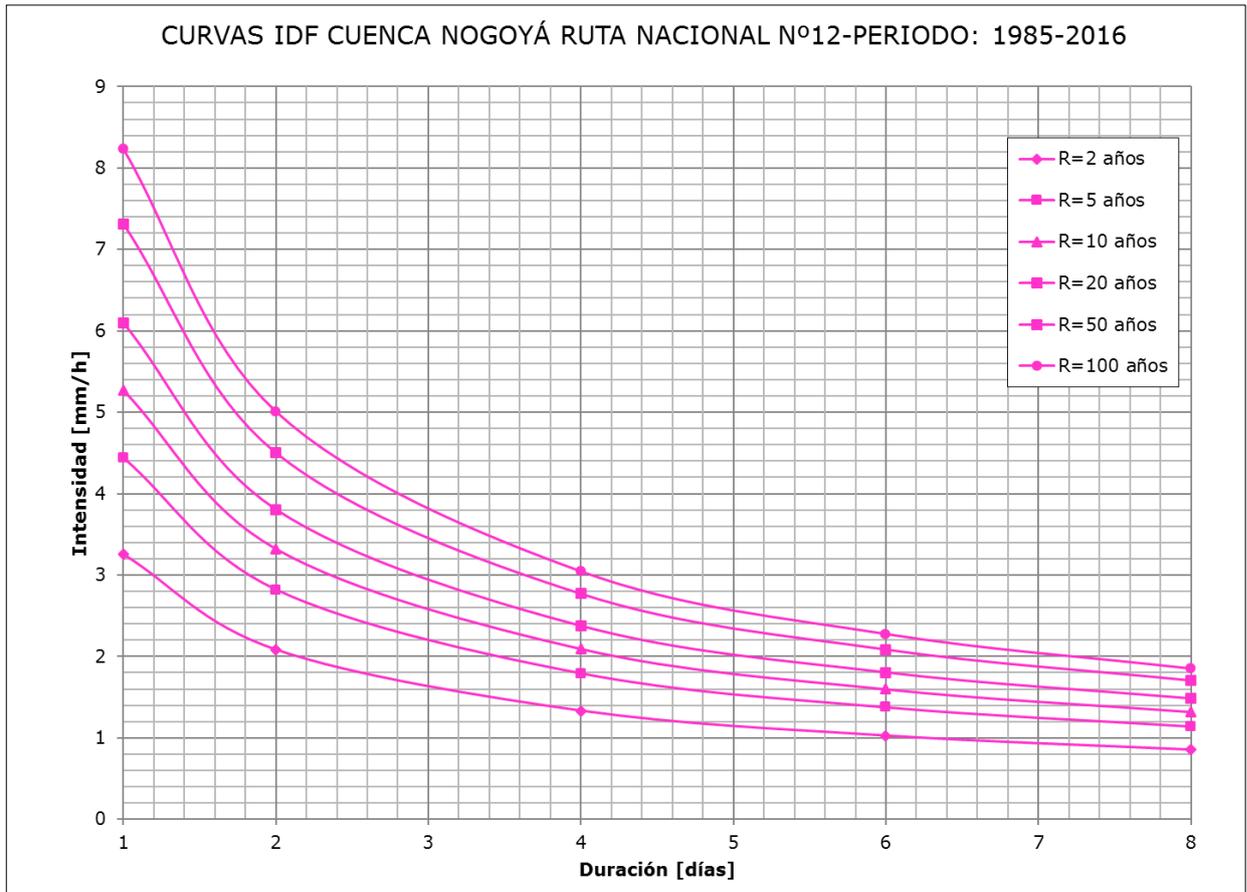
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{1105.98}{(d + 1.56)^{0.710}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{1399.40}{(d + 1.56)^{0.723}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{1883.04}{(d + 1.56)^{0.741}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{2381.55}{(d + 1.55)^{0.747}}$$

4.1.5.2 CIERRE RUTA NACIONAL N°12



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{352.12}{(d + 1.56)^{0.644}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{516.37}{(d + 1.56)^{0.654}}$$

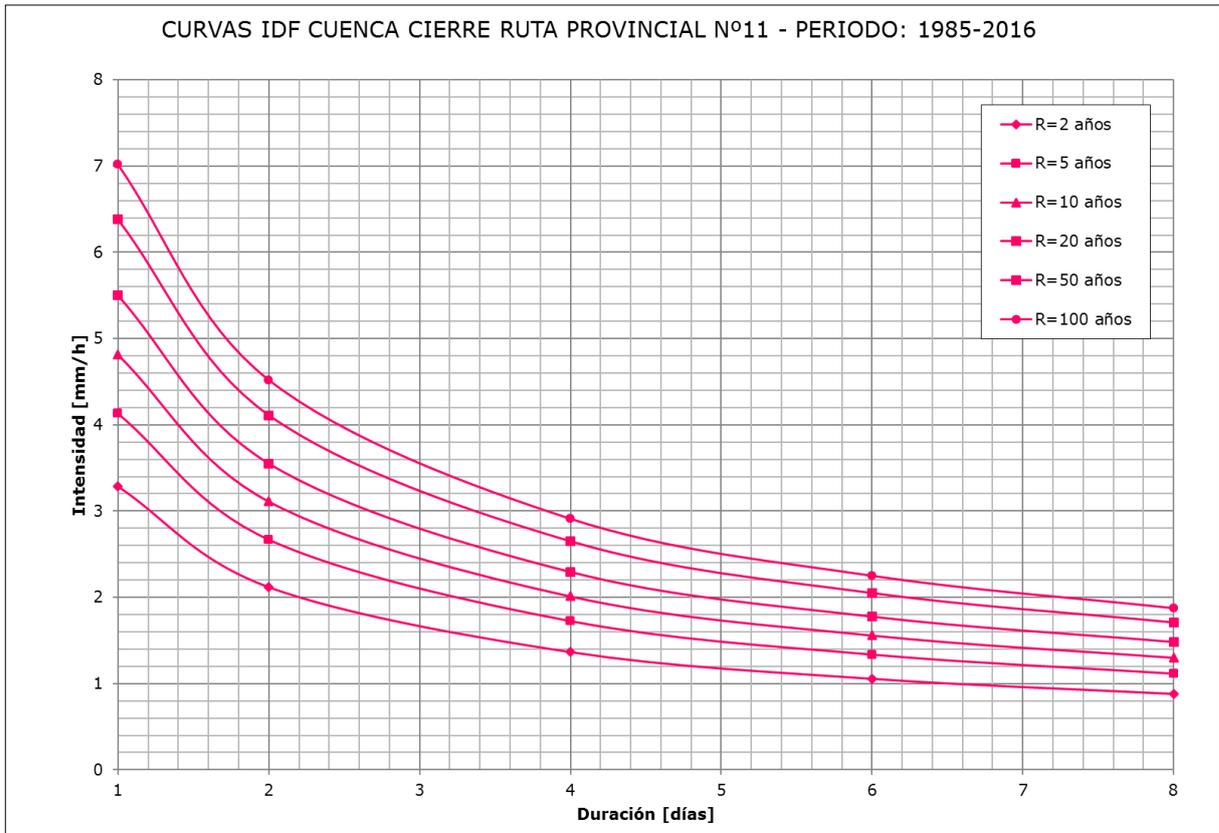
$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{668.82}{(d + 1.56)^{0.666}}$$

$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{863.88}{(d + 1.56)^{0.681}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{1197.99}{(d + 1.56)^{0.681}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{1526.38}{(d + 1.55)^{0.718}}$$

4.1.5.3 CIERRE EN RUTA PROVINCIAL N°11



$$I_{R=2 \text{ años}} = \frac{336.36}{(d + 5.56)^{0.636}}$$

$$I_{R=5 \text{ años}} = \frac{410.17}{(d + 1.56)^{0.632}}$$

$$I_{R=10 \text{ años}} = \frac{470.61}{(d + 1.56)^{0.630}}$$

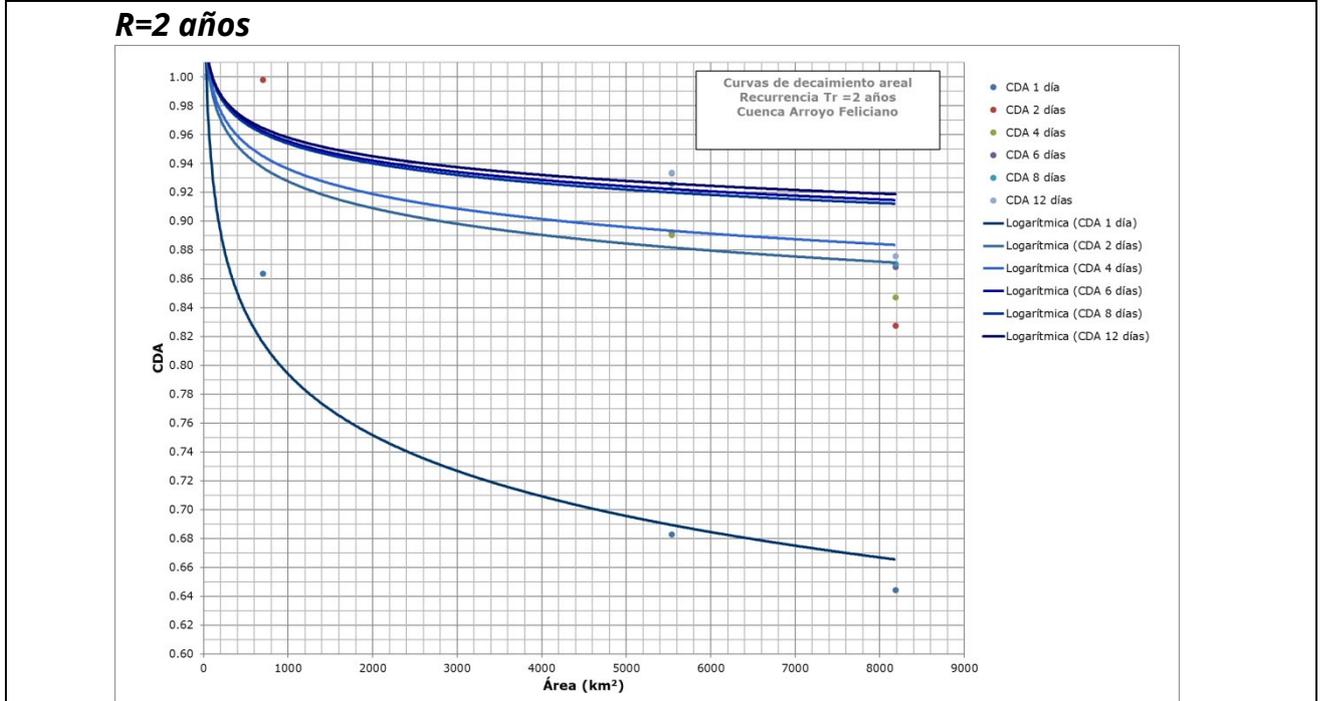
$$I_{R=20 \text{ años}} = \frac{545.84}{(d + 1.55)^{0.632}}$$

$$I_{R=50 \text{ años}} = \frac{646.82}{(d + 1.55)^{0.635}}$$

$$I_{R=100 \text{ años}} = \frac{711.14}{(d + 1.53)^{0.635}}$$

4.2 CURVAS DE ABATIMIENTO AREAL

4.2.1 CUENCA ARROYO FELICIANO



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,061 \cdot \ln(A) + 1,22$$

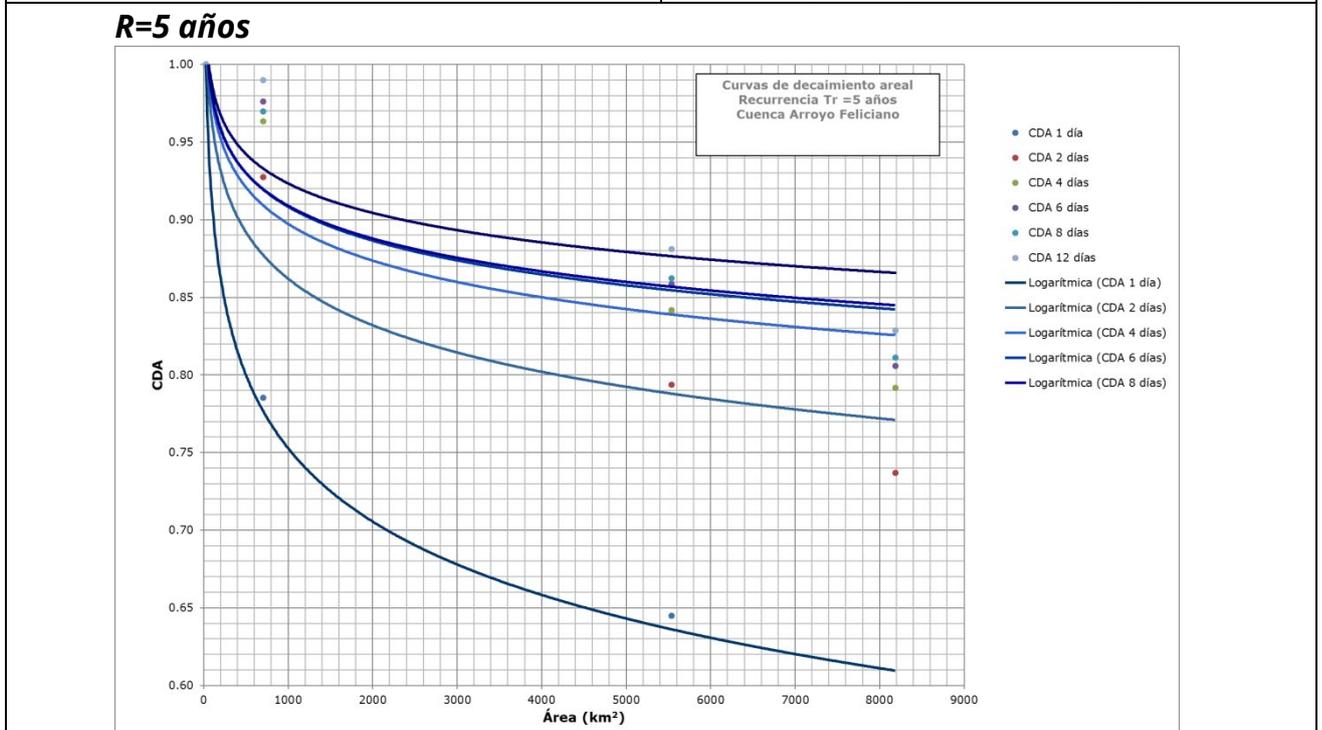
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,027 \cdot \ln(A) + 1,11$$

$$CDA (4 \text{ día}) = -0,025 \cdot \ln(A) + 1,11$$

$$CDA (6 \text{ días}) = -0,020 \cdot \ln(A) + 1,09$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,019 \cdot \ln(A) + 1,09$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,0119 \cdot \ln(A) + 1,08$$



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,068 \cdot \ln(A) + 1,22$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,043 \cdot \ln(A) + 1,16$$

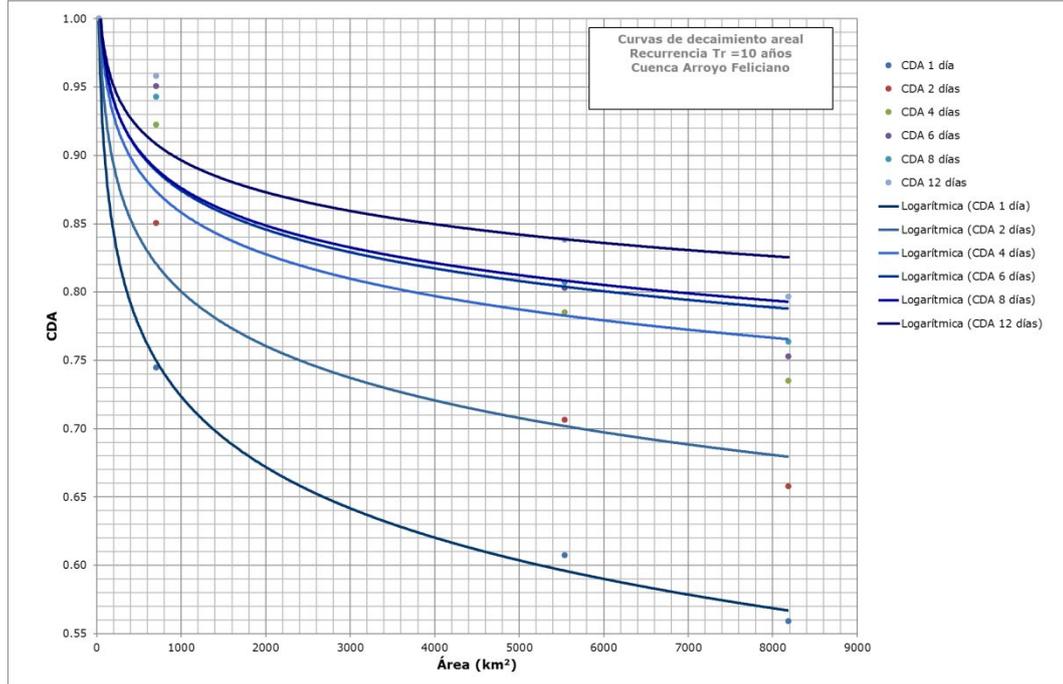
$$CDA (4 \text{ día}) = -0,034 \cdot \ln(A) + 1,13$$

$$CDA (6 \text{ días}) = -0,031 \cdot \ln(A) + 1,13$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,031 \cdot \ln(A) + 1,12$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,027 \cdot \ln(A) + 1,11$$

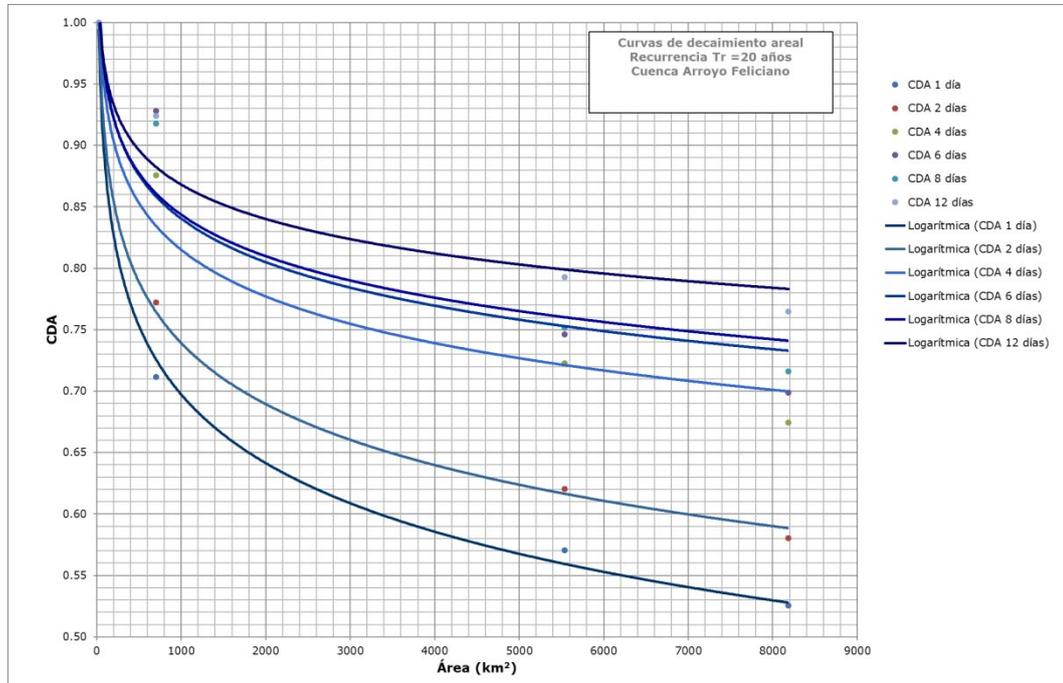
R=10 años



$$\begin{aligned} CDA (1 \text{ día}) &= -0,075 \cdot \ln(A) + 1,24 \\ CDA (2 \text{ días}) &= -0,058 \cdot \ln(A) + 1,20 \\ CDA (4 \text{ día}) &= -0,044 \cdot \ln(A) + 1,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CDA (6 \text{ días}) &= -0,041 \cdot \ln(A) + 1,16 \\ CDA (8 \text{ días}) &= -0,041 \cdot \ln(A) + 1,15 \\ CDA (12 \text{ días}) &= -0,034 \cdot \ln(A) + 1,13 \end{aligned}$$

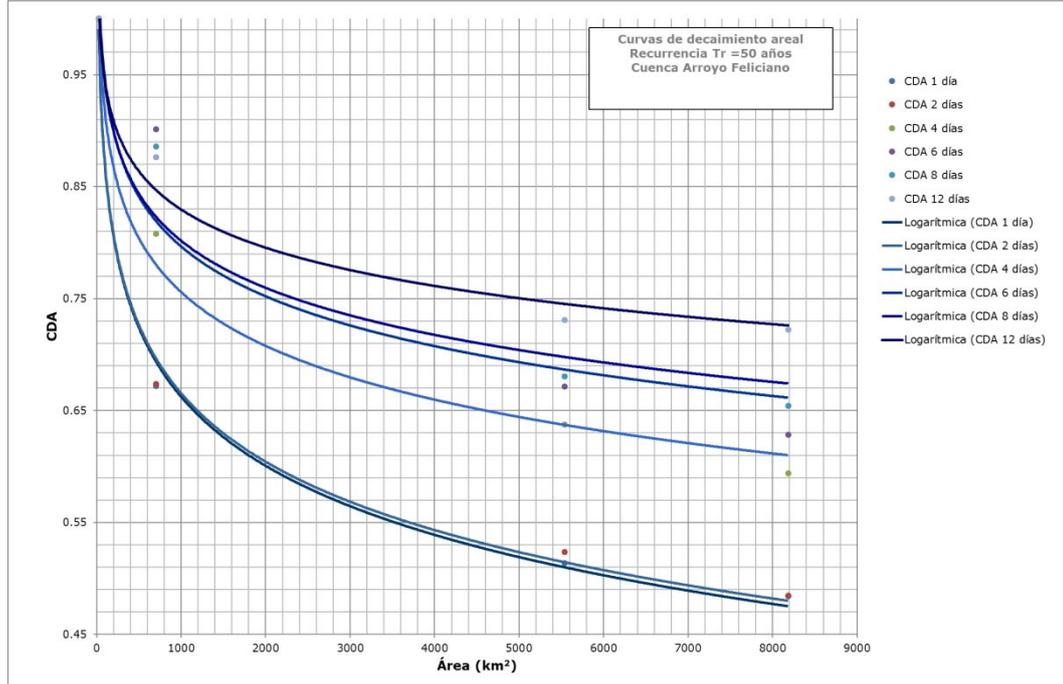
R=20 años



$$\begin{aligned} CDA (1 \text{ día}) &= -0,081 \cdot \ln(A) + 1,25 \\ CDA (2 \text{ días}) &= -0,072 \cdot \ln(A) + 1,23 \\ CDA (4 \text{ día}) &= -0,055 \cdot \ln(A) + 1,19 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CDA (6 \text{ días}) &= -0,051 \cdot \ln(A) + 1,19 \\ CDA (8 \text{ días}) &= -0,049 \cdot \ln(A) + 1,18 \\ CDA (12 \text{ días}) &= -0,040 \cdot \ln(A) + 1,15 \end{aligned}$$

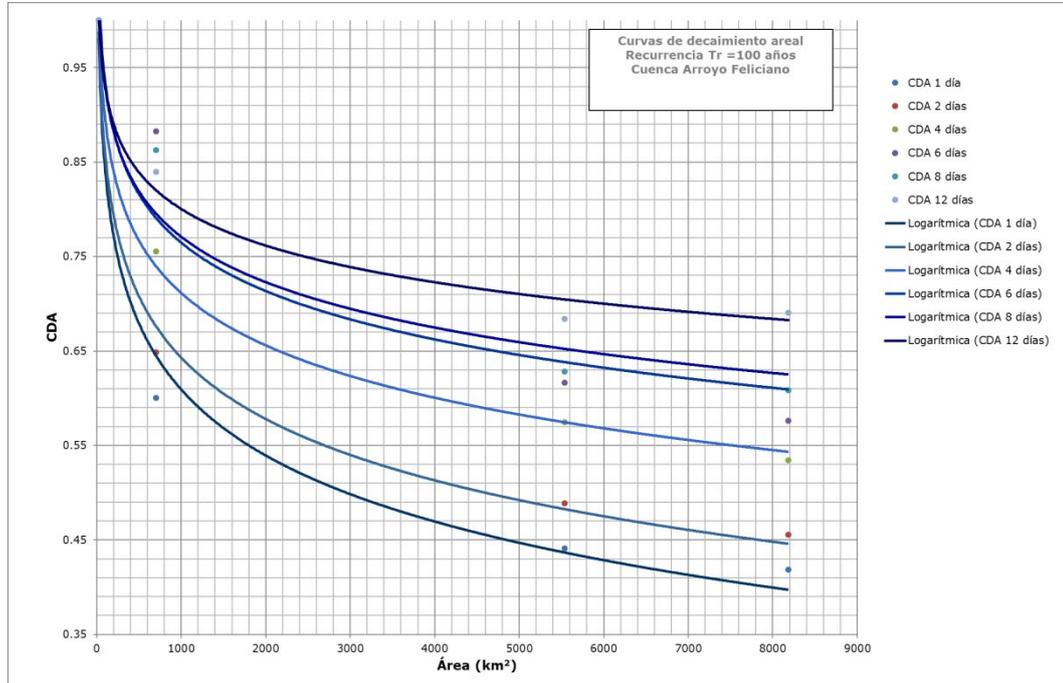
R=50 años



$$\begin{aligned} CDA (6 \text{ días}) &= -0,064 \cdot \ln(A) + 1,24 \\ CDA (8 \text{ días}) &= -0,061 \cdot \ln(A) + 1,22 \\ CDA (12 \text{ días}) &= -0,049 \cdot \ln(A) + 1,17 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CDA (6 \text{ días}) &= -0,064 \cdot \ln(A) + 1,24 \\ CDA (8 \text{ días}) &= -0,061 \cdot \ln(A) + 1,22 \\ CDA (12 \text{ días}) &= -0,049 \cdot \ln(A) + 1,17 \end{aligned}$$

R=100 años

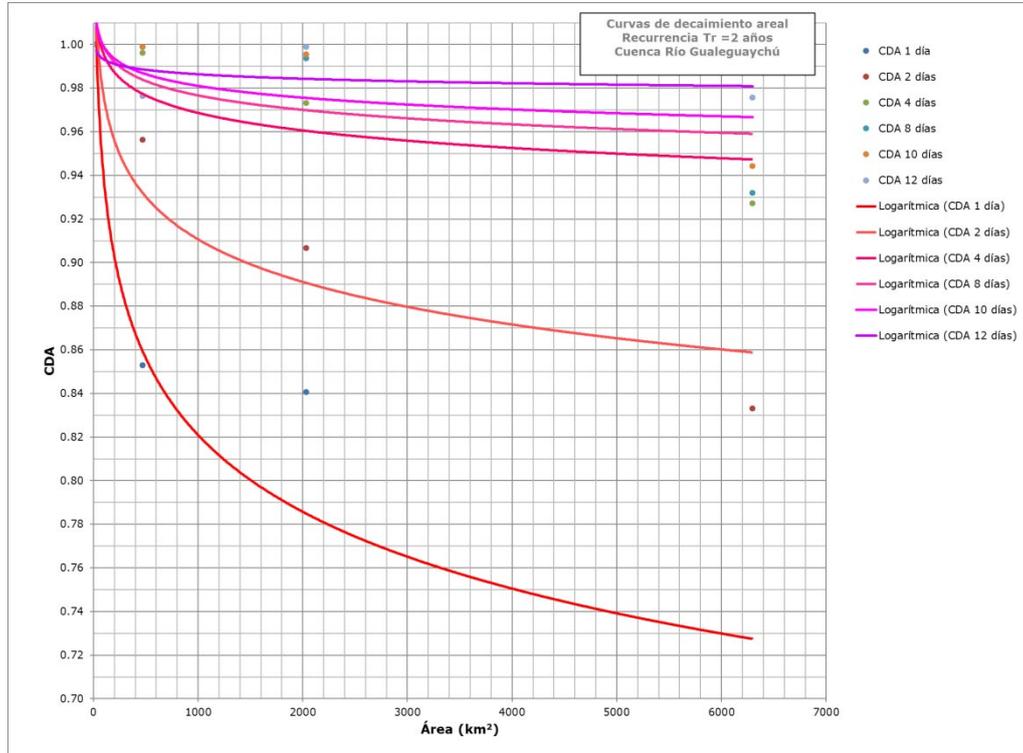


$$\begin{aligned} CDA (1 \text{ día}) &= -0.101 \times \ln(A) + 1.31 \\ CDA (2 \text{ días}) &= -0.094 \times \ln(A) + 1.29 \\ CDA (4 \text{ día}) &= -0.08 \times \ln(A) + 1.26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CDA (6 \text{ días}) &= -0.074 \times \ln(A) + 1.28 \\ CDA (8 \text{ día}) &= -0.069 \times \ln(A) + 1.25 \\ CDA (12 \text{ días}) &= -0.056 \times \ln(A) + 1.19 \end{aligned}$$

4.2.2 CUENCA RIO GUALEGUAYCHÚ

R=2 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,051 \cdot \ln(A) + 1,17$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,028 \cdot \ln(A) + 1,11$$

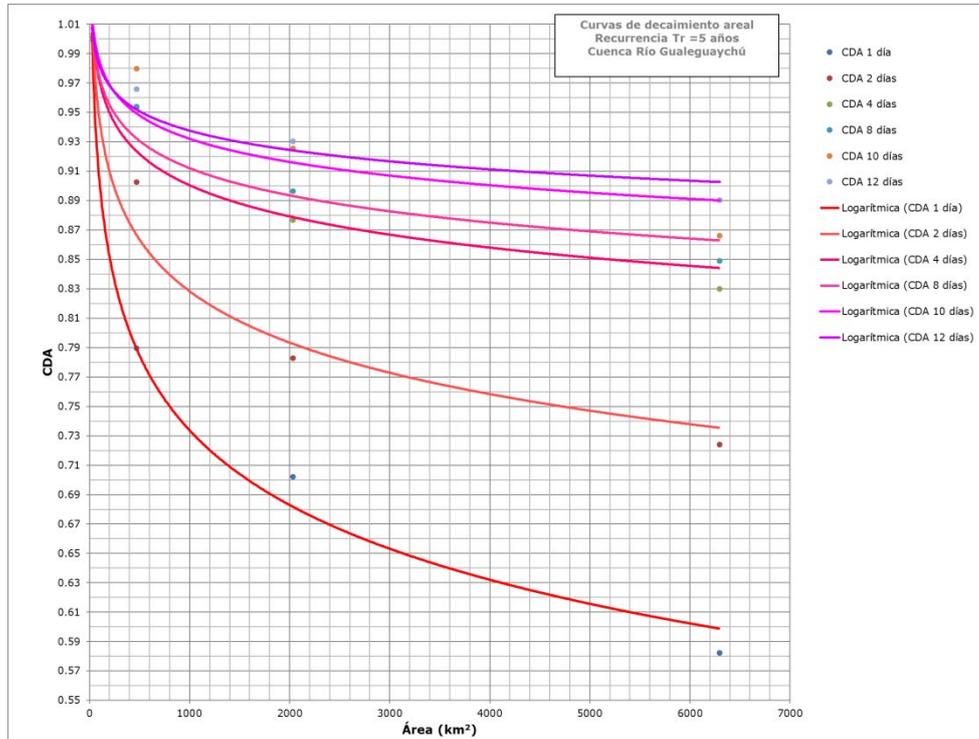
$$CDA (4 \text{ día}) = -0,012 \cdot \ln(A) + 1,04$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,010 \cdot \ln(A) + 1,04$$

$$CDA (10 \text{ días}) = -0,008 \cdot \ln(A) + 1,03$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,003 \cdot \ln(A) + 1,007$$

R=5 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,073 \cdot \ln(A) + 1,24$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,051 \cdot \ln(A) + 1,18$$

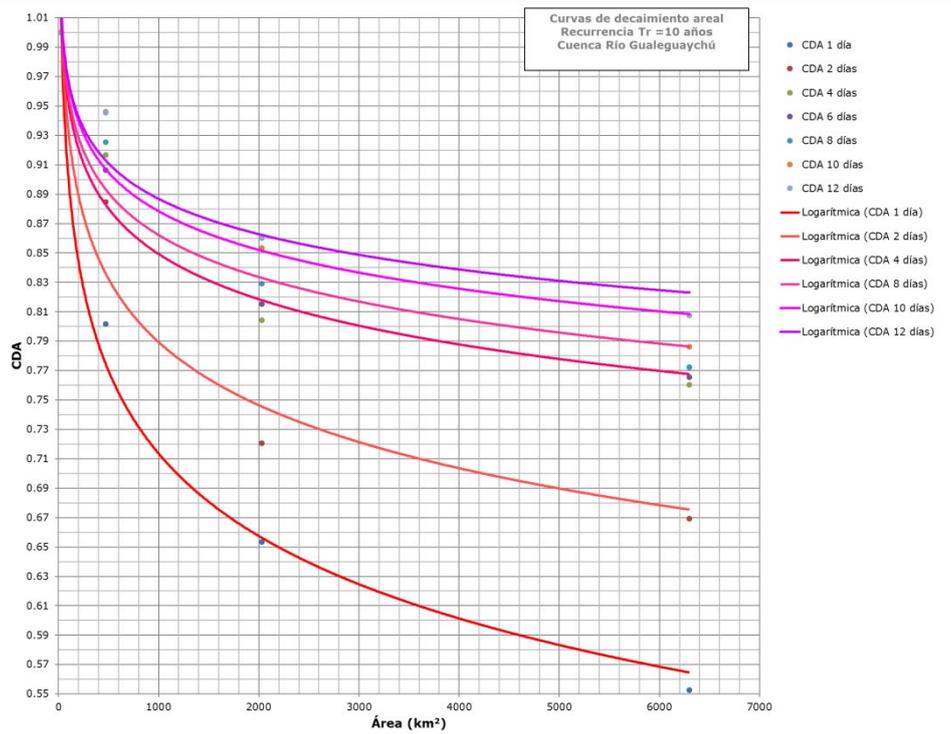
$$CDA (4 \text{ día}) = -0,031 \cdot \ln(A) + 1,11$$

$$CDA (8 \text{ día}) = -0,027 \cdot \ln(A) + 1,09$$

$$CDA (10 \text{ días}) = -0,023 \cdot \ln(A) + 1,09$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,019 \cdot \ln(A) + 1,07$$

R=10 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,081 \cdot \ln(A) + 1,27$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,062 \cdot \ln(A) + 1,22$$

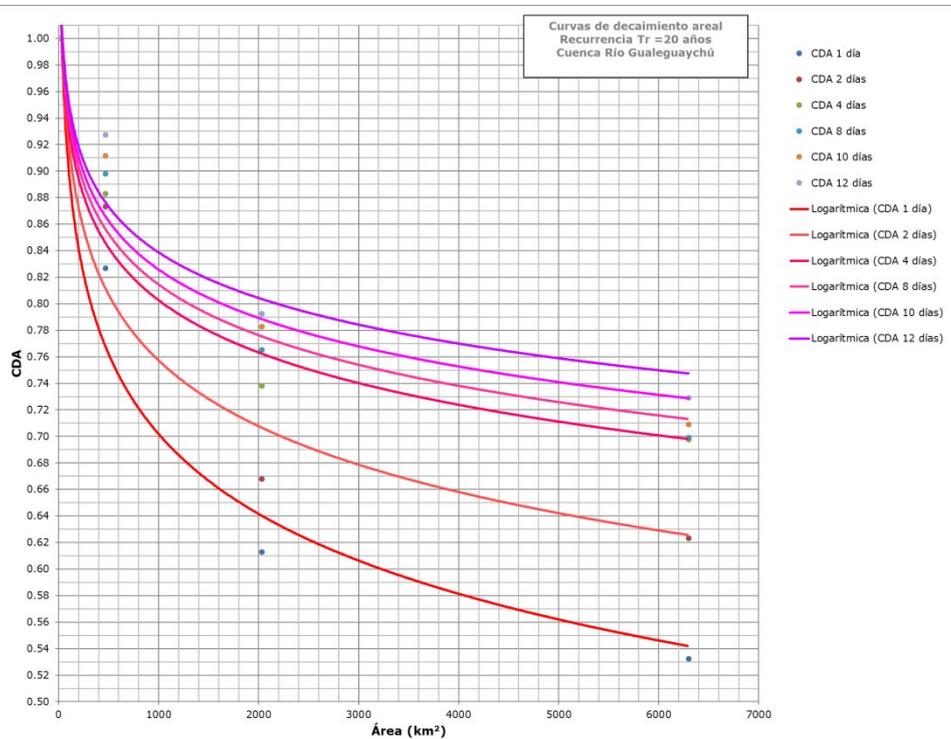
$$CDA (4 \text{ días}) = -0,044 \cdot \ln(A) + 1,16$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,041 \cdot \ln(A) + 1,15$$

$$CDA (10 \text{ días}) = -0,038 \cdot \ln(A) + 1,14$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,035 \cdot \ln(A) + 1,13$$

R=20 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,081 \cdot \ln(A) + 1,27$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,062 \cdot \ln(A) + 1,22$$

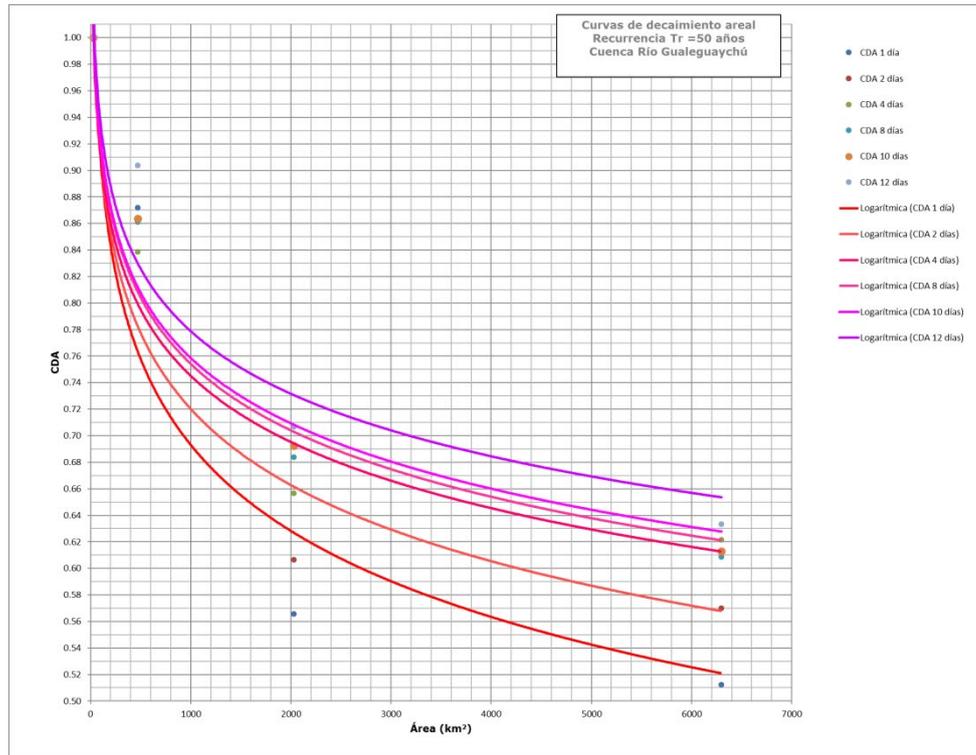
$$CDA (4 \text{ días}) = -0,044 \cdot \ln(A) + 1,16$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,041 \cdot \ln(A) + 1,15$$

$$CDA (10 \text{ días}) = -0,038 \cdot \ln(A) + 1,14$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,035 \cdot \ln(A) + 1,13$$

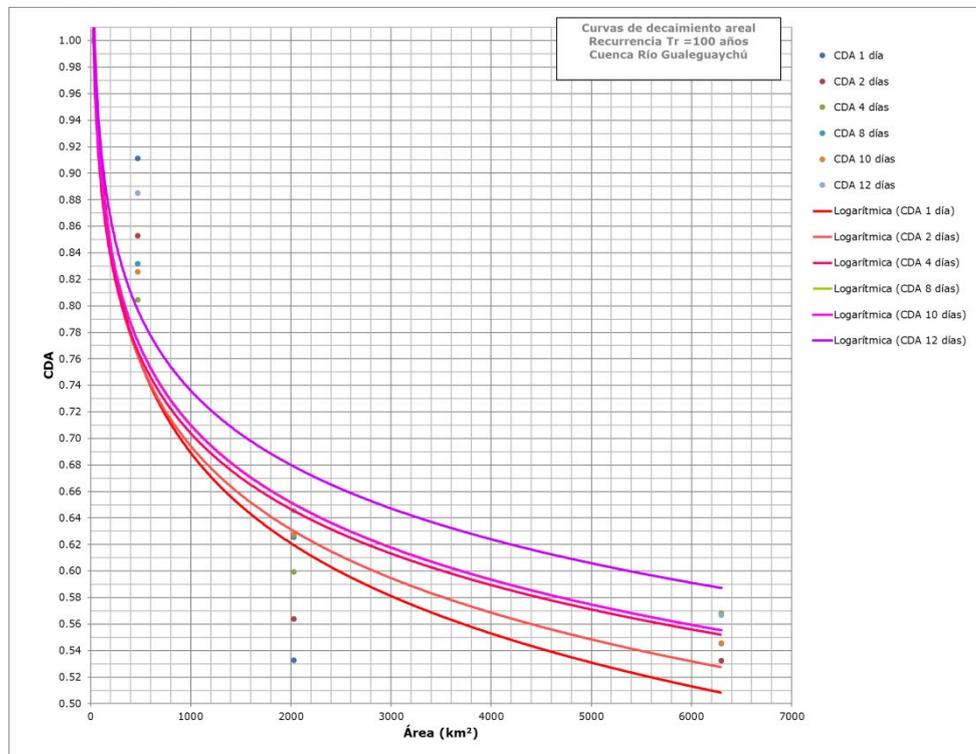
R=50 años



$CDA (1 \text{ día}) = -0,094 \cdot \ln(A) + 1,34$
 $CDA (2 \text{ días}) = -0,083 \cdot \ln(A) + 1,30$
 $CDA (4 \text{ días}) = -0,072 \cdot \ln(A) + 1,24$

$CDA (8 \text{ días}) = -0,072 \cdot \ln(A) + 1,25$
 $CDA (10 \text{ días}) = -0,071 \cdot \ln(A) + 1,25$
 $CDA (12 \text{ días}) = -0,068 \cdot \ln(A) + 1,25$

R=100 años

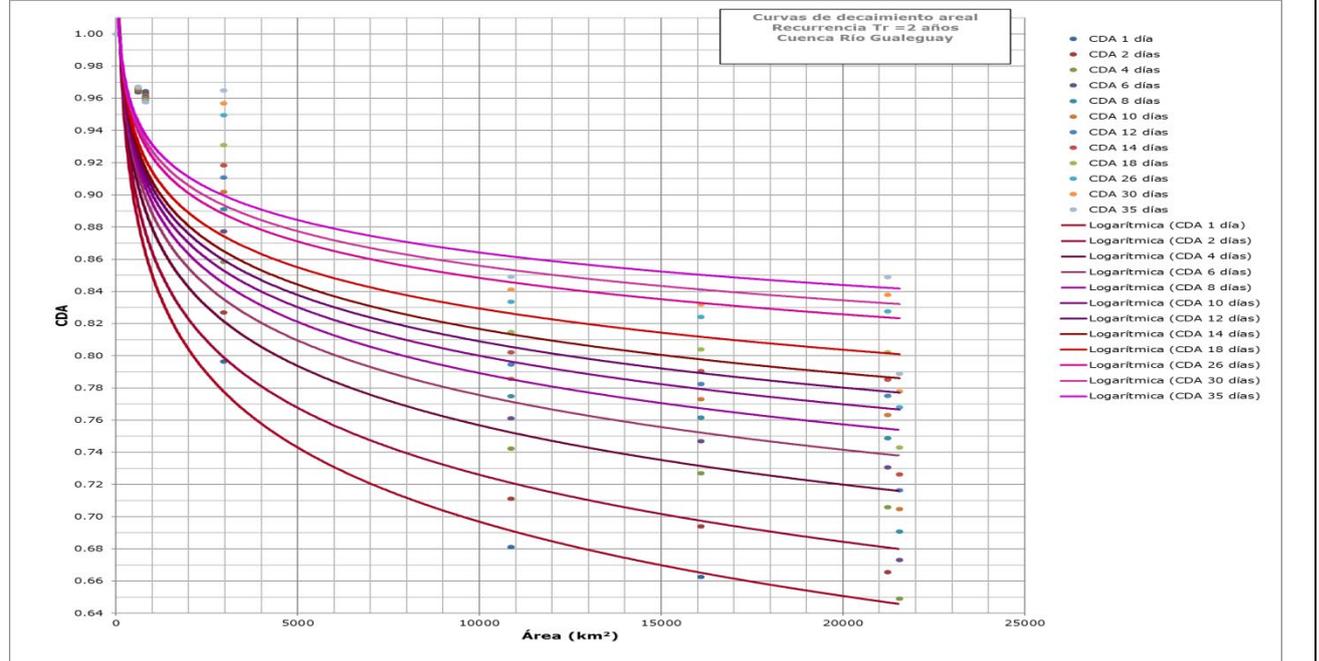


$CDA (1 \text{ día}) = -0,098 \cdot \ln(A) + 1,37$
 $CDA (2 \text{ días}) = -0,091 \cdot \ln(A) + 1,32$
 $CDA (4 \text{ días}) = -0,083 \cdot \ln(A) + 1,27$

$CDA (8 \text{ días}) = -0,072 \cdot \ln(A) + 1,25$
 $CDA (10 \text{ días}) = -0,084 \cdot \ln(A) + 1,29$
 $CDA (12 \text{ días}) = -0,081 \cdot \ln(A) + 1,29$

4.2.3 CUENCA RIO GUALEGUAY

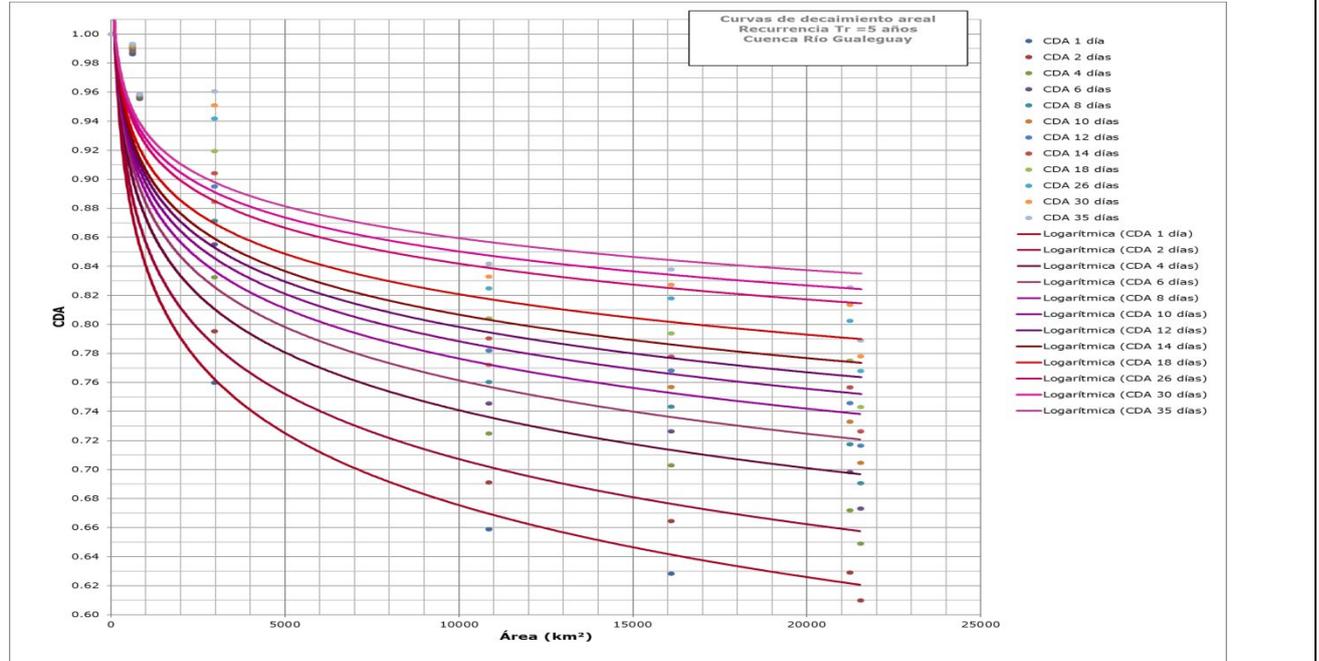
R=2 años



$CDA (1 \text{ día}) = -0,067 \cdot \ln(A) + 1,31$
 $CDA (2 \text{ días}) = -0,060 \cdot \ln(A) + 1,28$
 $CDA (4 \text{ días}) = -0,053 \cdot \ln(A) + 1,24$
 $CDA (6 \text{ días}) = -0,049 \cdot \ln(A) + 1,23$
 $CDA (8 \text{ días}) = -0,046 \cdot \ln(A) + 1,21$
 $CDA (10 \text{ días}) = -0,044 \cdot \ln(A) + 1,20$

$CDA (12 \text{ días}) = -0,042 \cdot \ln(A) + 1,19$
 $CDA (14 \text{ días}) = -0,040 \cdot \ln(A) + 1,18$
 $CDA (18 \text{ días}) = -0,037 \ln(A) + 1,17$
 $CDA (26 \text{ días}) = -0,033 \cdot \ln(A) + 1,15$
 $CDA (30 \text{ días}) = -0,031 \cdot \ln(A) + 1,14$
 $CDA (35 \text{ días}) = -0,029 \cdot \ln(A) + 1,13$

R=5 años

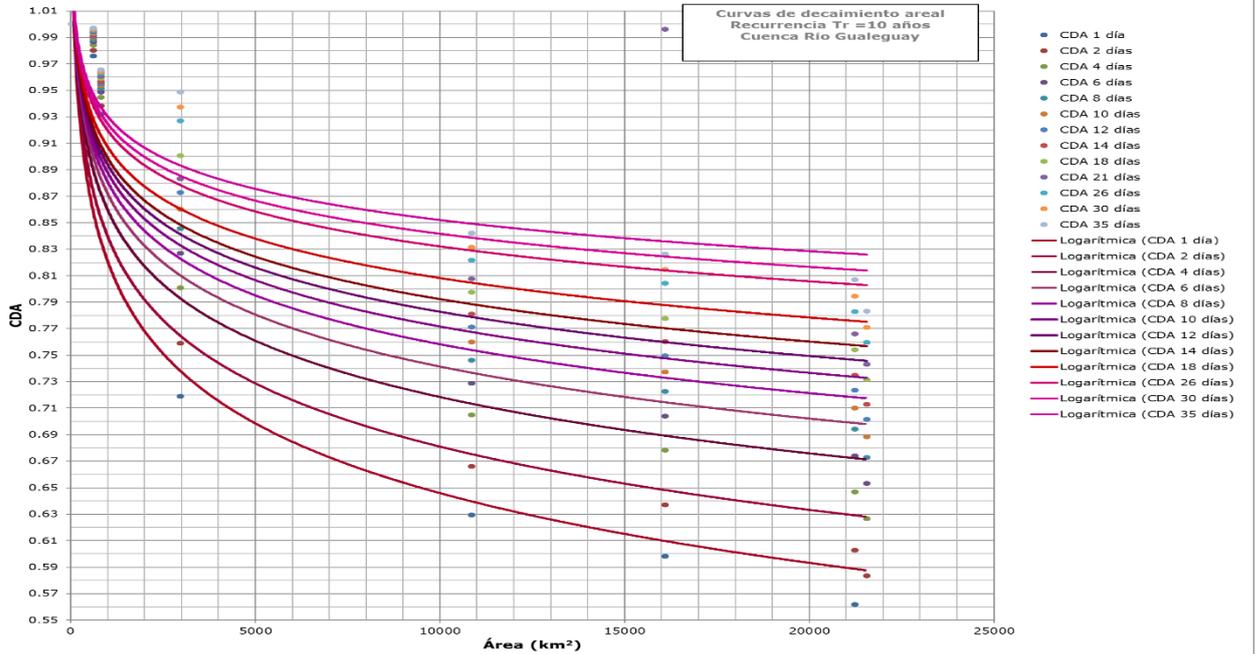


$CDA (1 \text{ día}) = -0,072 \cdot \ln(A) + 1,33$
 $CDA (2 \text{ días}) = -0,065 \cdot \ln(A) + 1,30$
 $CDA (4 \text{ días}) = -0,058 \cdot \ln(A) + 1,28$
 $CDA (6 \text{ días}) = -0,053 \cdot \ln(A) + 1,25$
 $CDA (8 \text{ días}) = -0,050 \cdot \ln(A) + 1,23$

$CDA (12 \text{ días}) = -0,045 \cdot \ln(A) + 1,21$
 $CDA (14 \text{ días}) = -0,043 \cdot \ln(A) + 1,20$
 $CDA (18 \text{ días}) = -0,040 \cdot \ln(A) + 1,19$
 $CDA (26 \text{ días}) = -0,036 \cdot \ln(A) + 1,17$
 $CDA (30 \text{ días}) = -0,034 \cdot \ln(A) + 1,16$

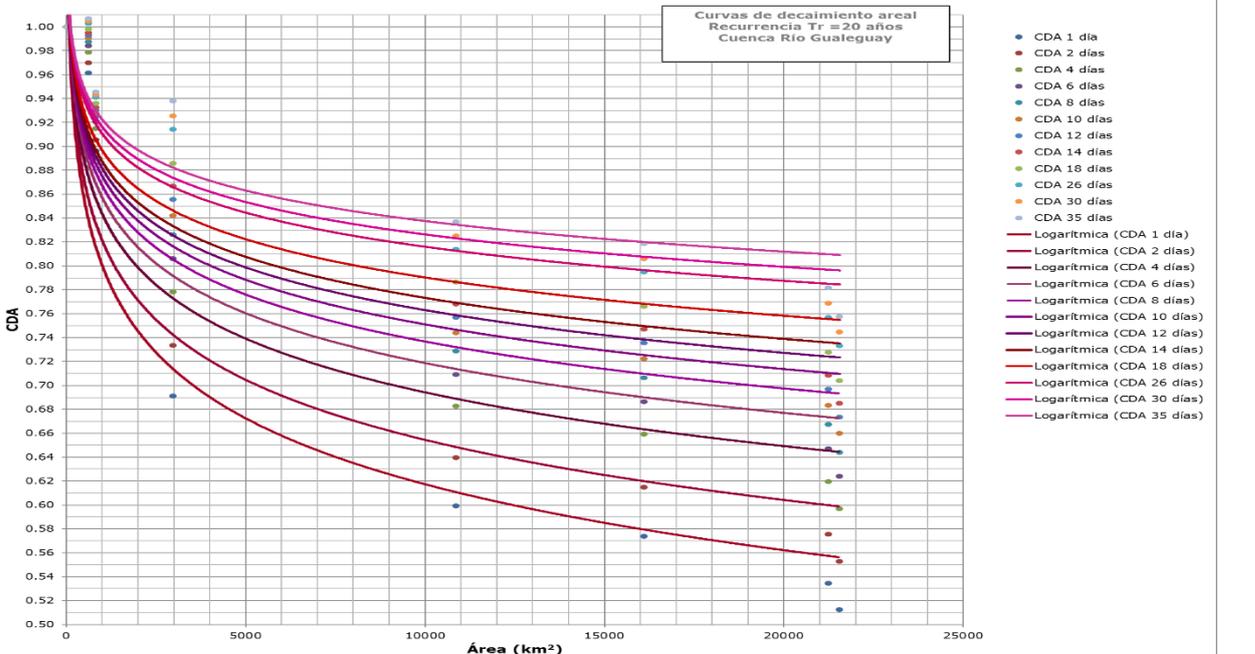
CDA (10 días) = $-0,047 \cdot \ln(A) + 1,22$	CDA (35 días) = $-0,032 \cdot \ln(A) + 1,15$
--	--

R=10 años



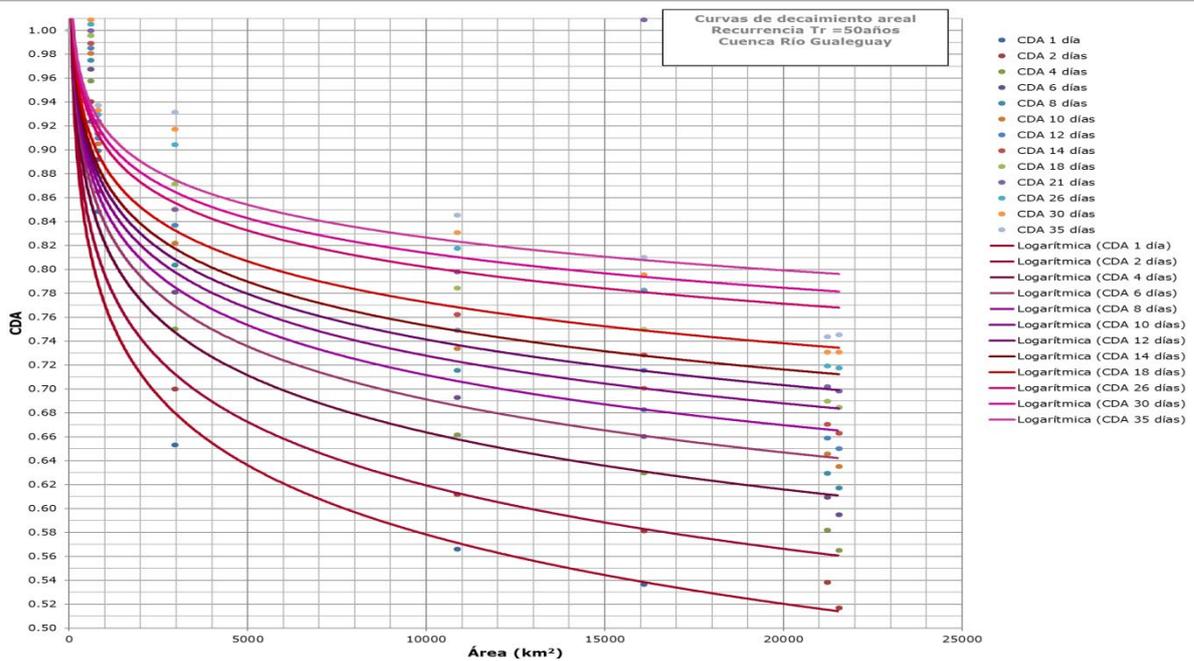
CDA (1 día) = $-0,076 \cdot \ln(A) + 1,35$ CDA (2 días) = $-0,069 \cdot \ln(A) + 1,31$ CDA (4 días) = $-0,061 \cdot \ln(A) + 1,28$ CDA (6 días) = $-0,057 \cdot \ln(A) + 1,26$ CDA (8 días) = $-0,053 \cdot \ln(A) + 1,25$ CDA (10 días) = $-0,050 \cdot \ln(A) + 1,24$	CDA (12 días) = $-0,048 \cdot \ln(A) + 1,23$ CDA (14 días) = $-0,046 \cdot \ln(A) + 1,22$ CDA (18 días) = $-0,043 \cdot \ln(A) + 1,20$ CDA (26 días) = $-0,038 \cdot \ln(A) + 1,18$ CDA (30 días) = $-0,036 \cdot \ln(A) + 1,17$ CDA (35 días) = $-0,034 \cdot \ln(A) + 1,16$
--	--

R=20 años



CDA (1 día) = $-0,080 \cdot \ln(A) + 1,35$ CDA (2 días) = $-0,073 \cdot \ln(A) + 1,32$ CDA (4 días) = $-0,065 \cdot \ln(A) + 1,29$ CDA (6 días) = $-0,060 \cdot \ln(A) + 1,27$ CDA (8 días) = $-0,057 \cdot \ln(A) + 1,26$ CDA (10 días) = $-0,054 \cdot \ln(A) + 1,25$	CDA (12 días) = $-0,052 \cdot \ln(A) + 1,24$ CDA (14 días) = $-0,050 \cdot \ln(A) + 1,23$ CDA (18 días) = $-0,046 \cdot \ln(A) + 1,21$ CDA (26 días) = $-0,041 \cdot \ln(A) + 1,19$ CDA (30 días) = $-0,039 \cdot \ln(A) + 1,18$ CDA (35 días) = $-0,037 \cdot \ln(A) + 1,18$
--	--

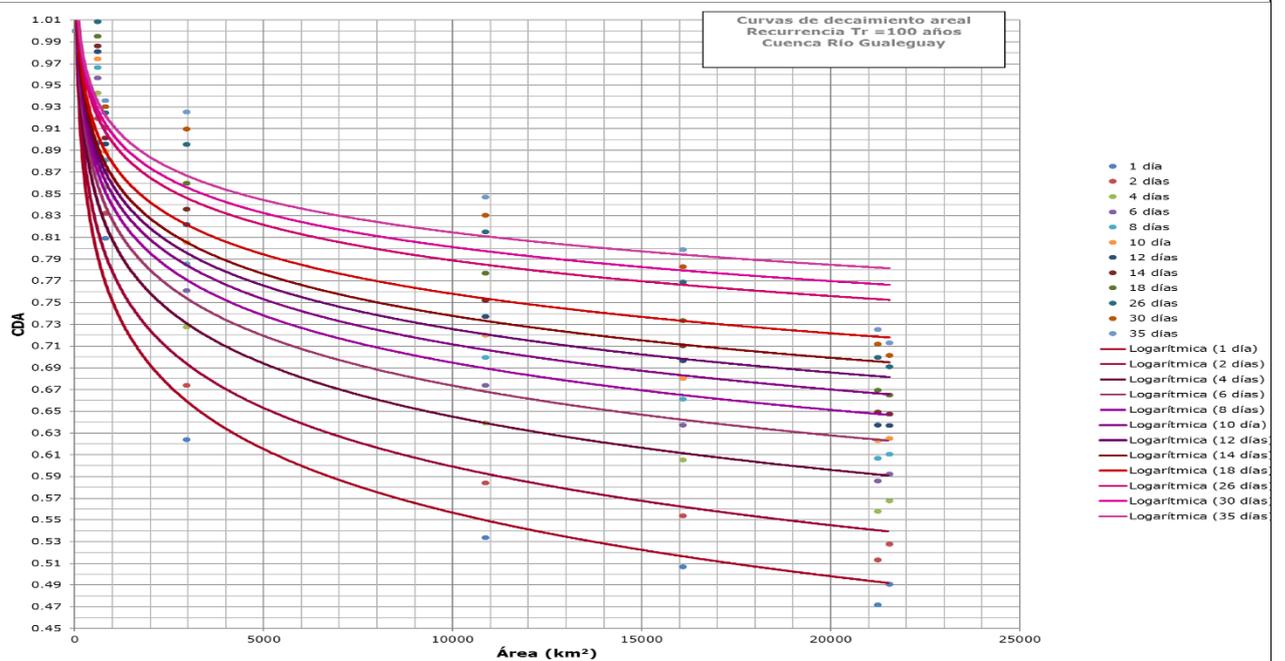
R=50 años



$CDA(1 \text{ día}) = -0,084 \cdot \ln(A) + 1,35$
 $CDA(2 \text{ días}) = -0,077 \cdot \ln(A) + 1,33$
 $CDA(4 \text{ días}) = -0,069 \cdot \ln(A) + 1,29$
 $CDA(6 \text{ días}) = -0,064 \cdot \ln(A) + 1,28$
 $CDA(8 \text{ días}) = -0,060 \cdot \ln(A) + 1,27$
 $CDA(10 \text{ días}) = -0,058 \cdot \ln(A) + 1,26$

$CDA(12 \text{ días}) = -0,055 \cdot \ln(A) + 1,25$
 $CDA(14 \text{ días}) = -0,053 \cdot \ln(A) + 1,24$
 $CDA(18 \text{ días}) = -0,050 \cdot \ln(A) + 1,23$
 $CDA(26 \text{ días}) = -0,044 \cdot \ln(A) + 1,21$
 $CDA(30 \text{ días}) = -0,042 \cdot \ln(A) + 1,20$
 $CDA(35 \text{ días}) = -0,040 \cdot \ln(A) + 1,19$

R=100 años

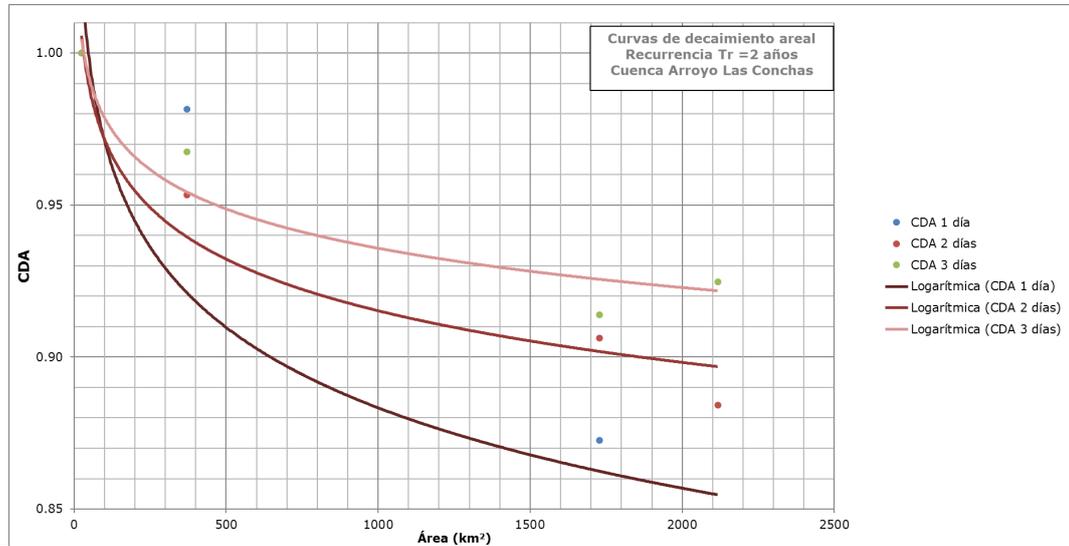


$CDA(1 \text{ día}) = -0,084 \cdot \ln(A) + 1,33$
 $CDA(2 \text{ días}) = -0,078 \cdot \ln(A) + 1,32$
 $CDA(4 \text{ días}) = -0,071 \cdot \ln(A) + 1,29$
 $CDA(6 \text{ días}) = -0,066 \cdot \ln(A) + 1,28$
 $CDA(8 \text{ días}) = -0,063 \cdot \ln(A) + 1,27$
 $CDA(10 \text{ días}) = -0,060 \cdot \ln(A) + 1,26$

$CDA(12 \text{ días}) = -0,058 \cdot \ln(A) + 1,26$
 $CDA(14 \text{ días}) = -0,056 \cdot \ln(A) + 1,25$
 $CDA(18 \text{ días}) = -0,052 \cdot \ln(A) + 1,24$
 $CDA(26 \text{ días}) = -0,047 \cdot \ln(A) + 1,22$
 $CDA(30 \text{ días}) = -0,045 \cdot \ln(A) + 1,22$
 $CDA(35 \text{ días}) = -0,043 \cdot \ln(A) + 1,21$

4.2.4 CUENCA ARROYO LAS CONCHAS

R=2 años

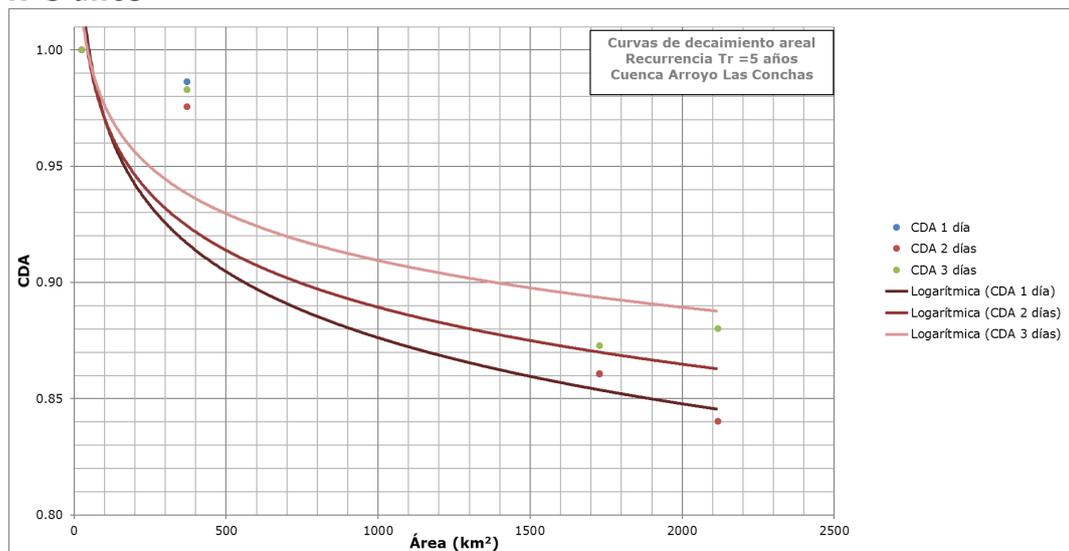


$$CDA (1 \text{ día}) = -0,038 \cdot \ln(A) + 1,15$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,025 \cdot \ln(A) + 1,085$$

$$CDA (3 \text{ días}) = -0,019 \cdot \ln(A) + 1,65$$

R=5 años

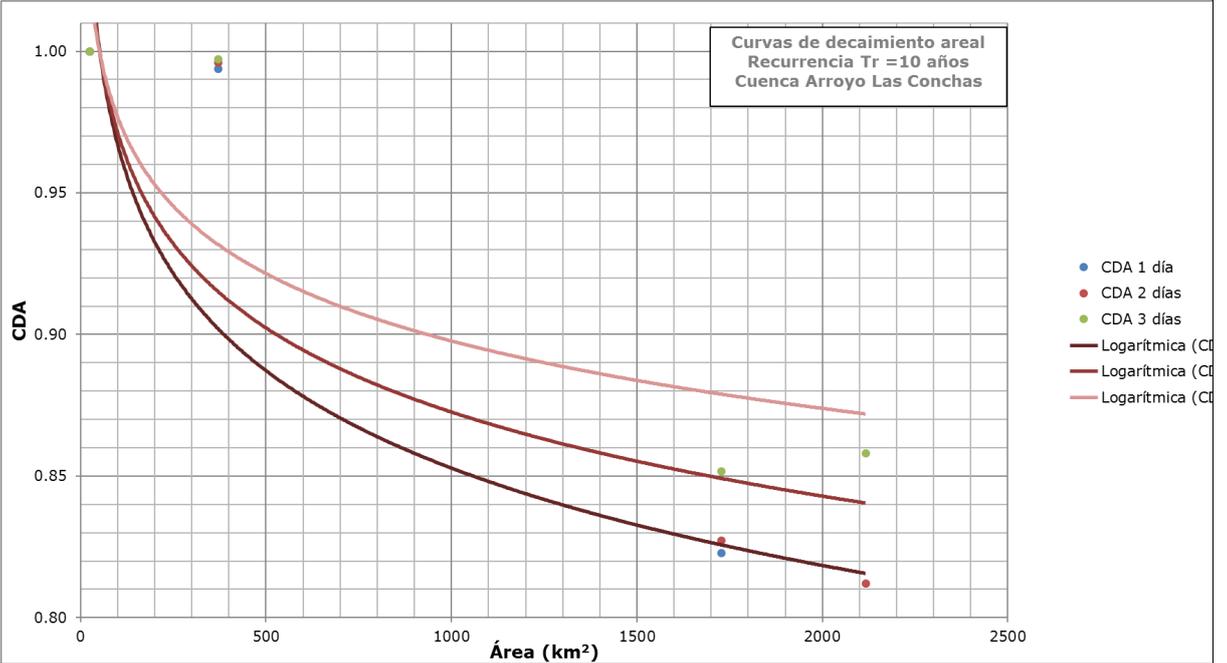


$$CDA (1 \text{ día}) = -0,041 \cdot \ln(A) + 1,16$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,035 \cdot \ln(A) + 1,13$$

$$CDA (3 \text{ días}) = -0,029 \cdot \ln(A) + 1,11$$

R=10 años

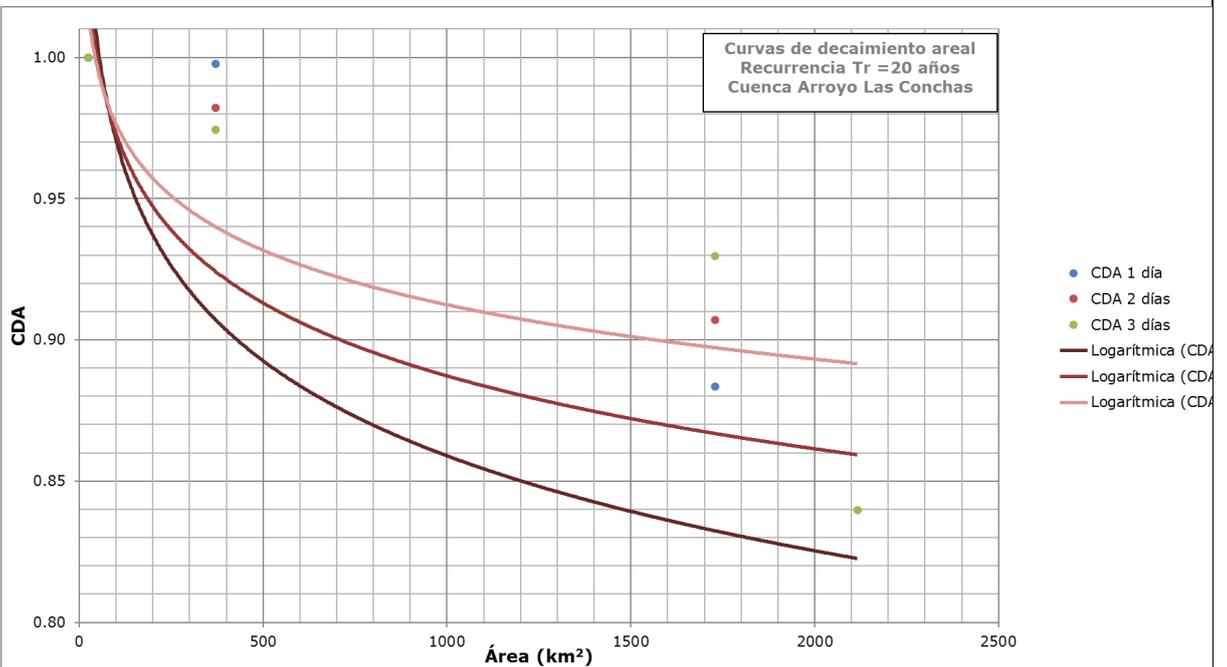


$$CDA (1 \text{ día}) = -0,05 \cdot \ln(A) + 1,19$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,043 \cdot \ln(A) + 1,17$$

$$CDA (3 \text{ días}) = -0,034 \cdot \ln(A) + 1,14$$

R=20 años

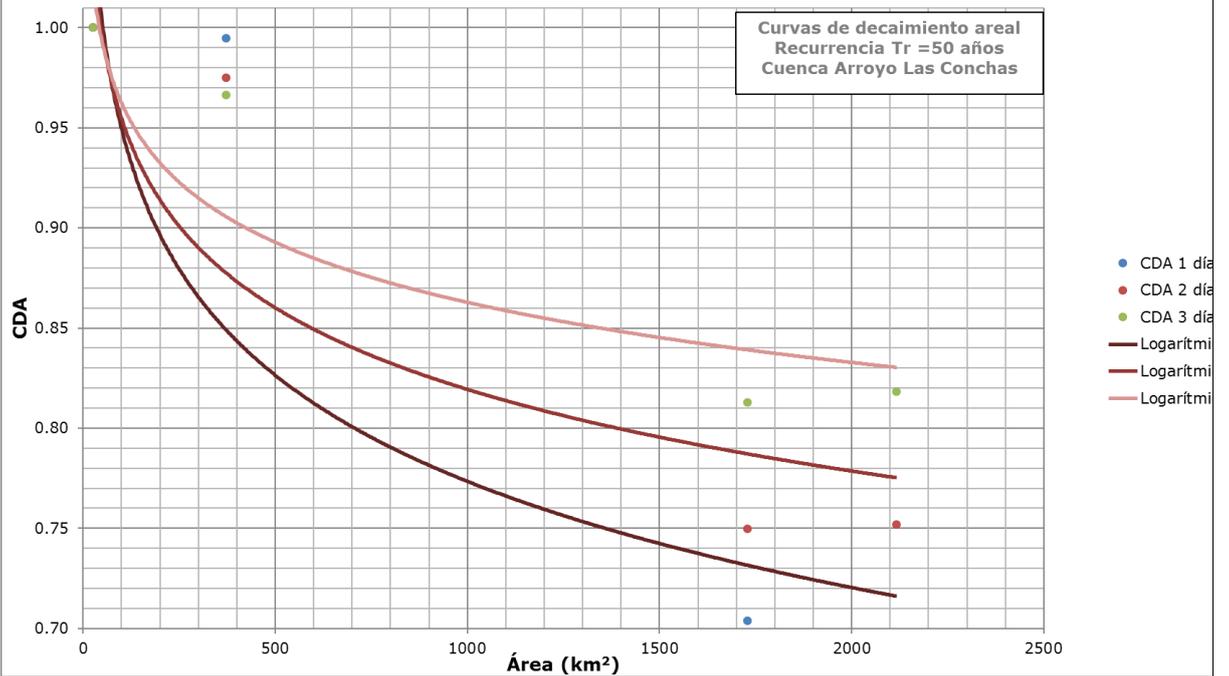


$$CDA (1 \text{ día}) = -0,049 \cdot \ln(A) + 1,19$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,037 \cdot \ln(A) + 1,14$$

$$CDA (3 \text{ días}) = -0,037 \cdot \ln(A) + 1,10$$

R=50 años

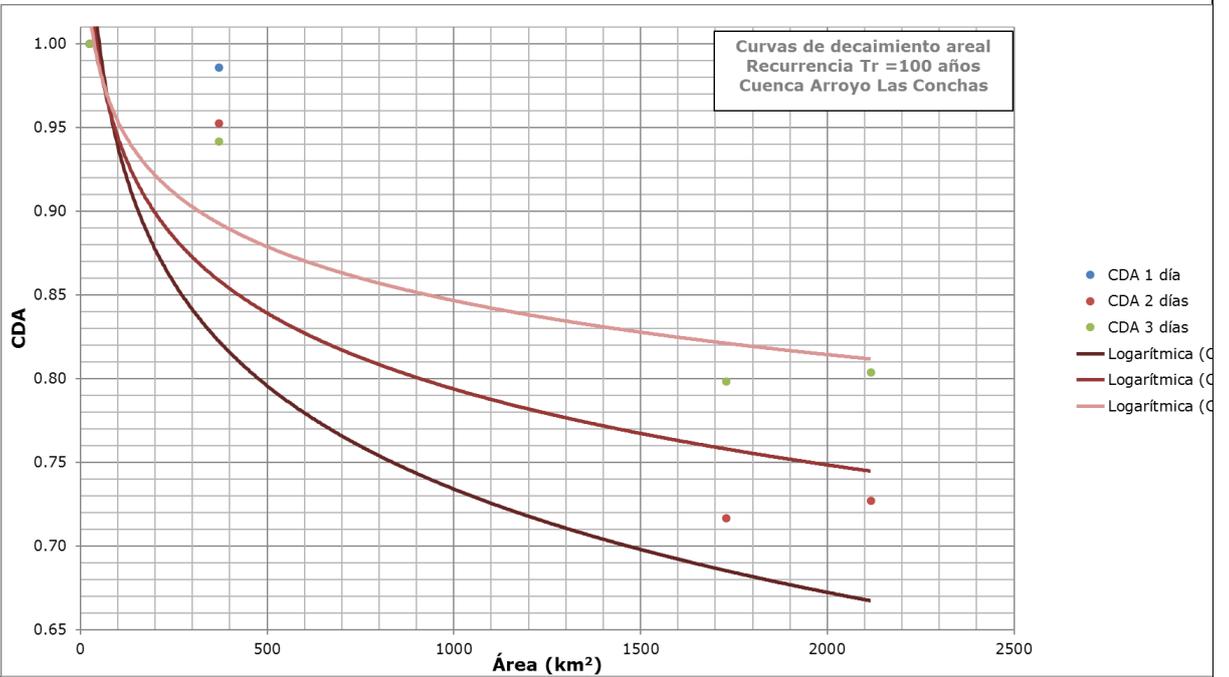


$$CDA (1 \text{ día}) = -0,077 \cdot \ln(A) + 1,30$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,059 \cdot \ln(A) + 1,22$$

$$CDA (3 \text{ días}) = -0,043 \cdot \ln(A) + 1,16$$

R=100 años

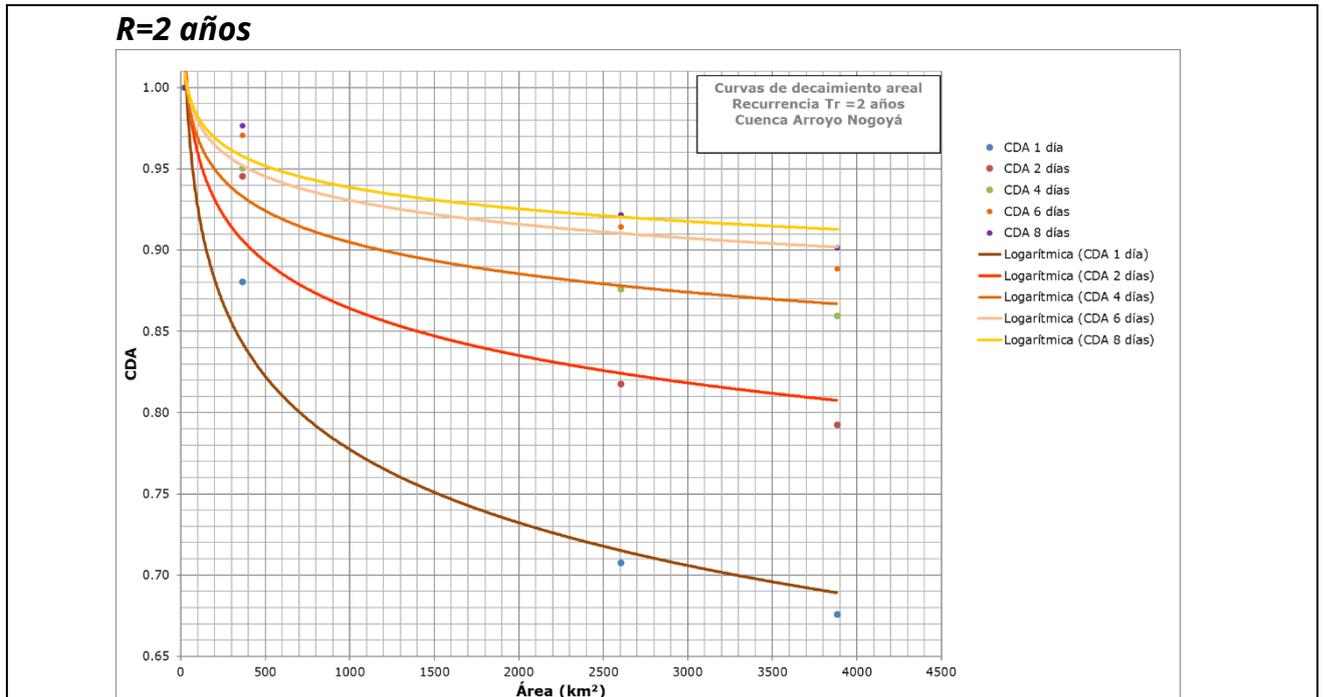


$$CDA (1 \text{ día}) = -0,089 \cdot \ln(A) + 1,35$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,065 \cdot \ln(A) + 1,25$$

$$CDA (3 \text{ días}) = -0,065 \cdot \ln(A) + 1,17$$

4.2.5 CUENCA ARROYO NOGOYÁ



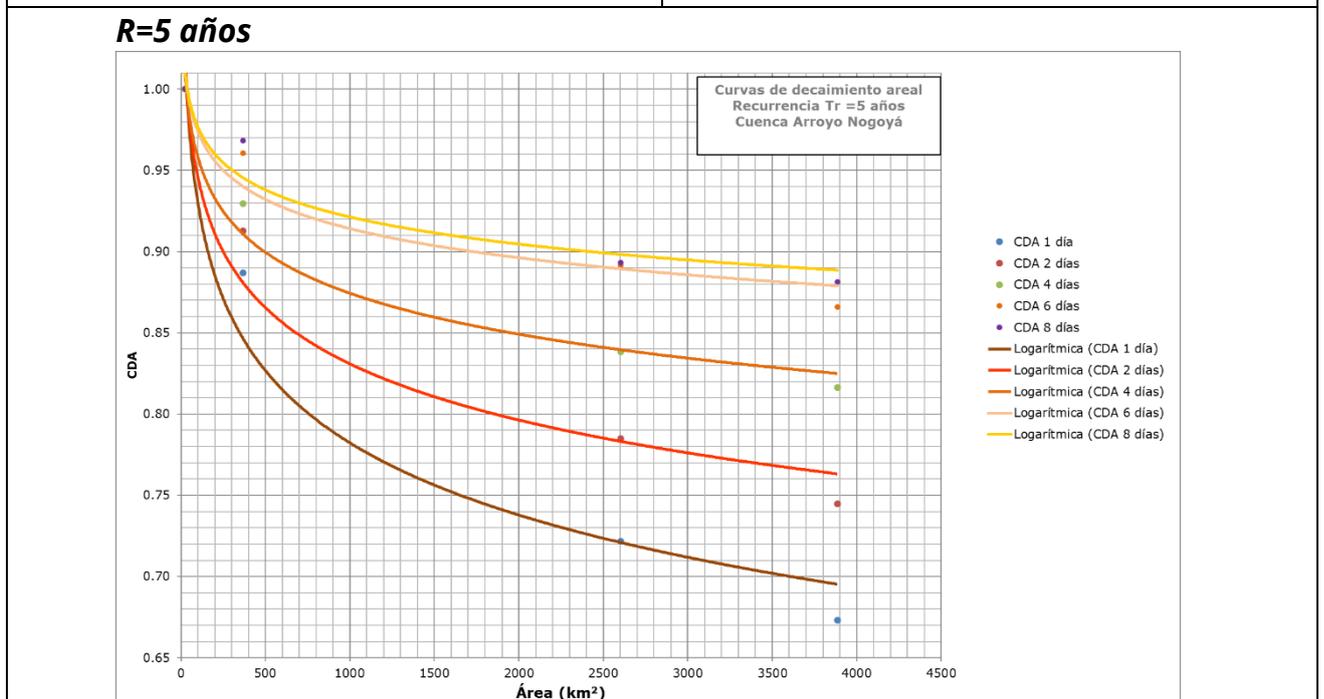
$$CDA (1 \text{ día}) = -0,065 \cdot \ln(A) + 1,22$$

$$CDA (2 \text{ días}) = -0,042 \cdot \ln(A) + 1,15$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,028 \cdot \ln(A) + 1,098$$

$$CDA (6 \text{ días}) = -0,021 \cdot \ln(A) + 1,08$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,019 \cdot \ln(A) + 1,07$$



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,064 \cdot \ln(A) + 1,23$$

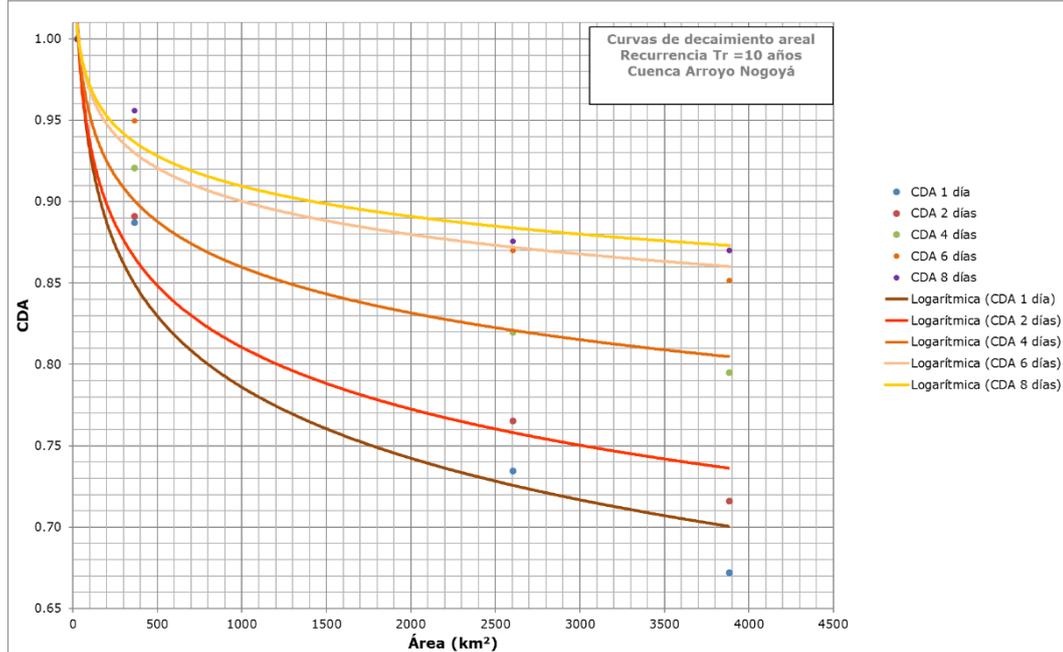
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,05 \cdot \ln(A) + 1,18$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,036 \cdot \ln(A) + 1,13$$

$$CDA (6 \text{ días}) = -0,026 \cdot \ln(A) + 1,09$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,024 \cdot \ln(A) + 1,09$$

R=10 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,063 \cdot \ln(A) + 1,22$$

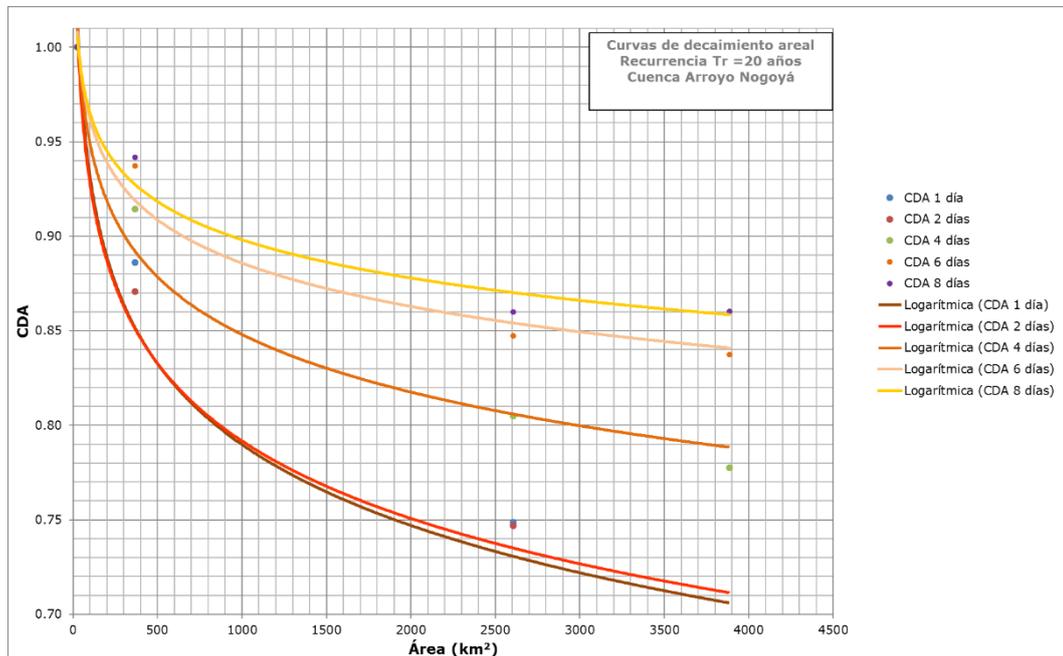
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,055 \cdot \ln(A) + 1,19$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,041 \cdot \ln(A) + 1,14$$

$$CDA (6 \text{ días}) = -0,03 \cdot \ln(A) + 1,10$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,027 \cdot \ln(A) + 1,095$$

R=20 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,062 \cdot \ln(A) + 1,22$$

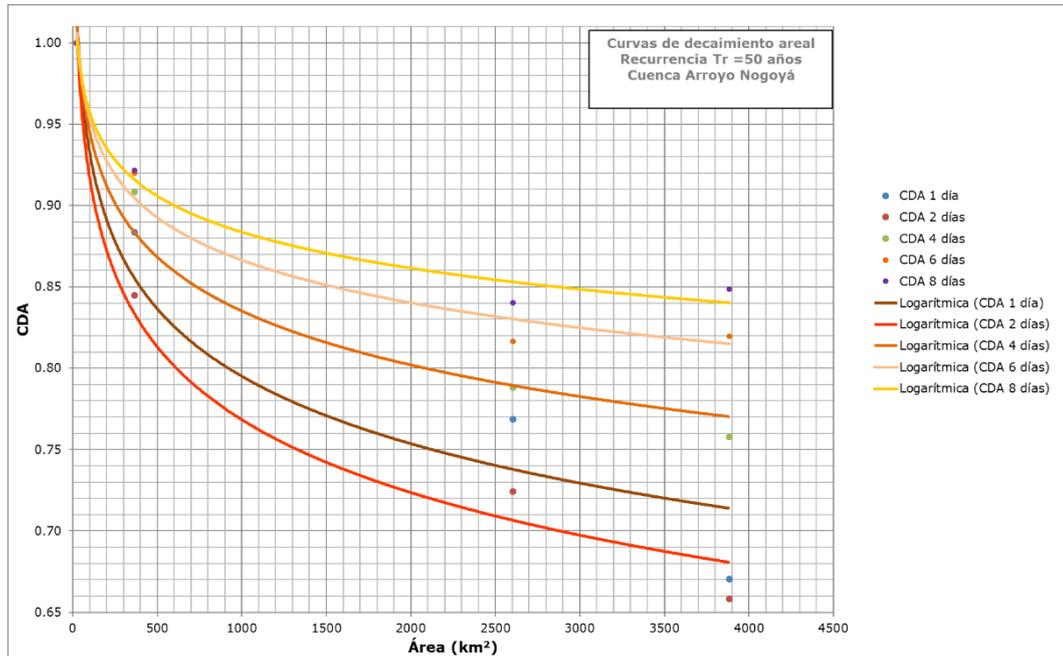
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,059 \cdot \ln(A) + 1,20$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,044 \cdot \ln(A) + 1,15$$

$$CDA (6 \text{ días}) = -0,033 \cdot \ln(A) + 1,11$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,029 \cdot \ln(A) + 1,10$$

R=50 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,065 \cdot \ln(A) + 1,21$$

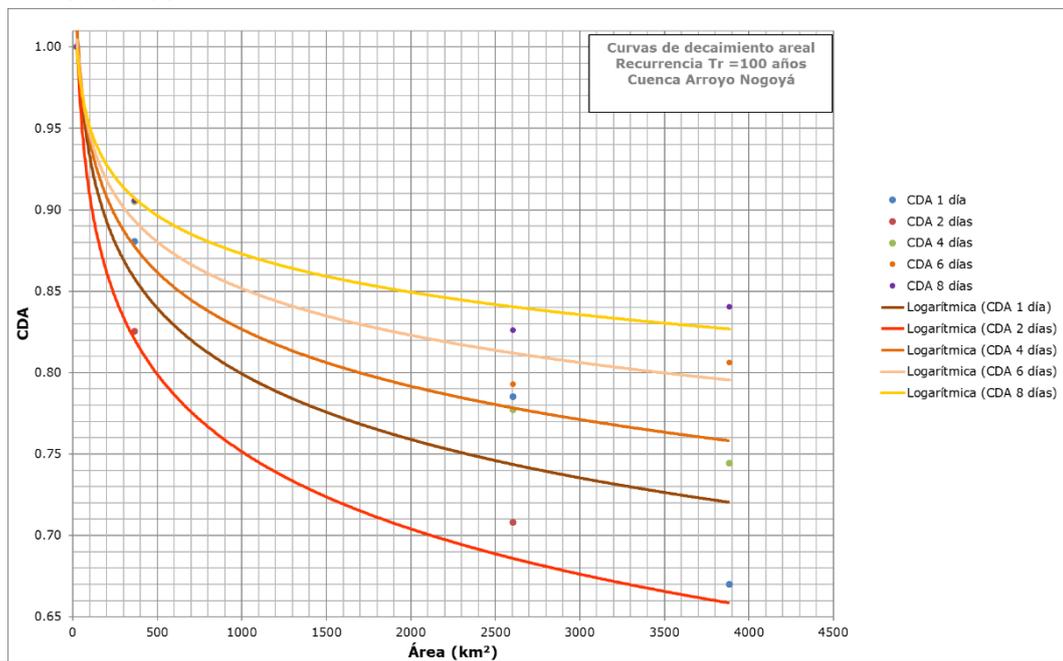
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,060 \cdot \ln(A) + 1,21$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,048 \cdot \ln(A) + 1,17$$

$$CDA (6 \text{ días}) = -0,038 \cdot \ln(A) + 1,13$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,032 \cdot \ln(A) + 1,10$$

R=100 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,069 \cdot \ln(A) + 1,22$$

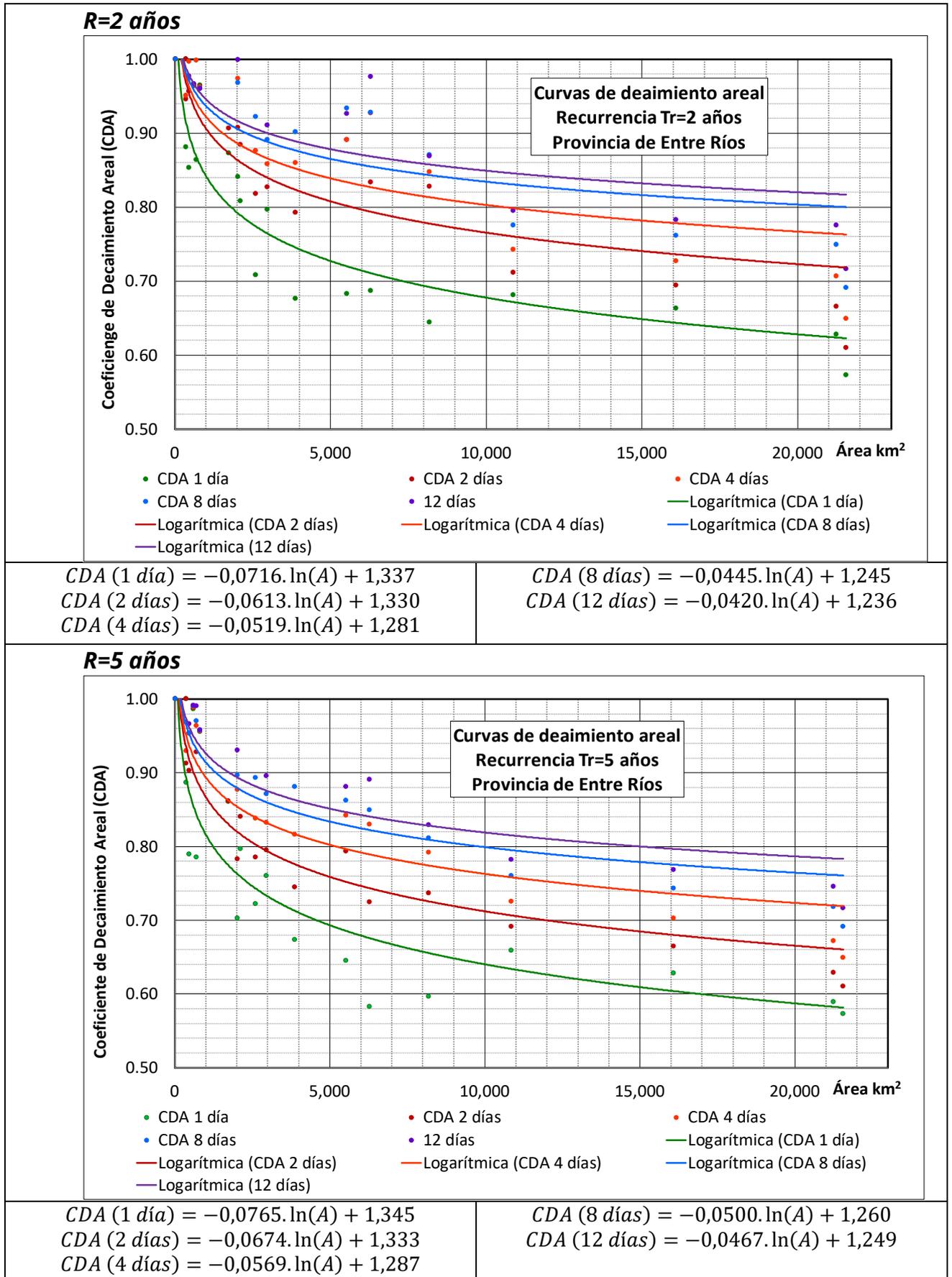
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,058 \cdot \ln(A) + 1,20$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,05 \cdot \ln(A) + 1,18$$

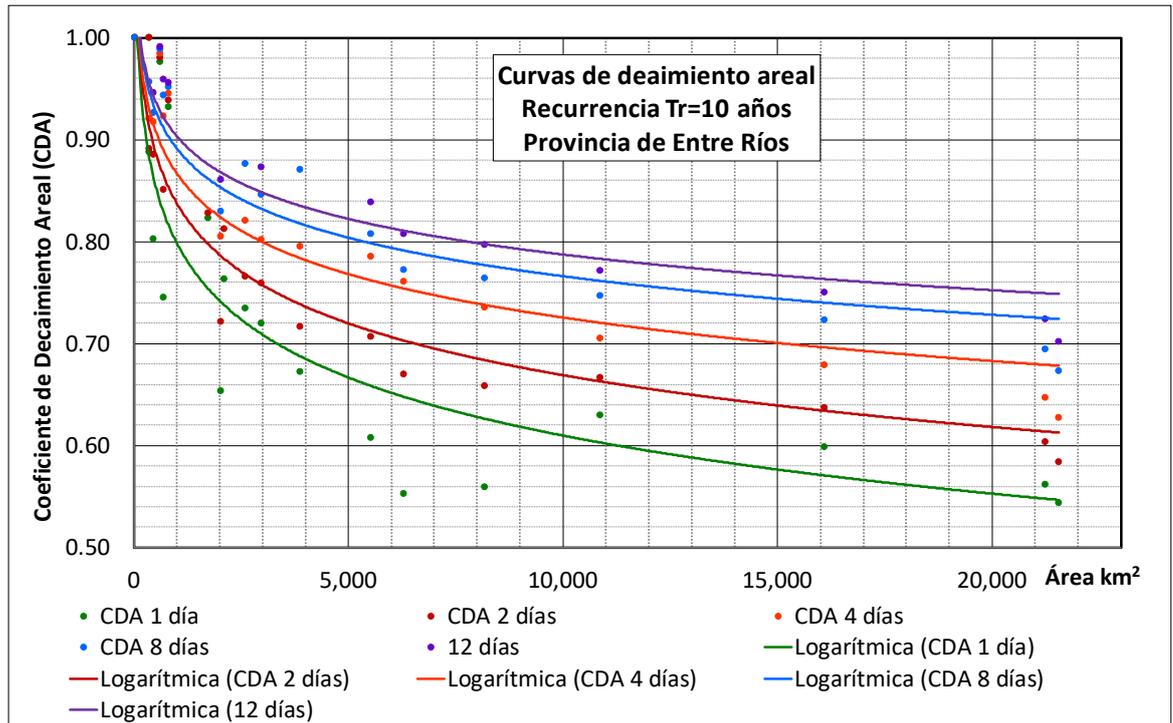
$$CDA (6 \text{ días}) = -0,041 \cdot \ln(A) + 1,14$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,034 \cdot \ln(A) + 1,11$$

4.2.6 PROMEDIOS DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS



R=10 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,0822 \cdot \ln(A) + 1,367$$

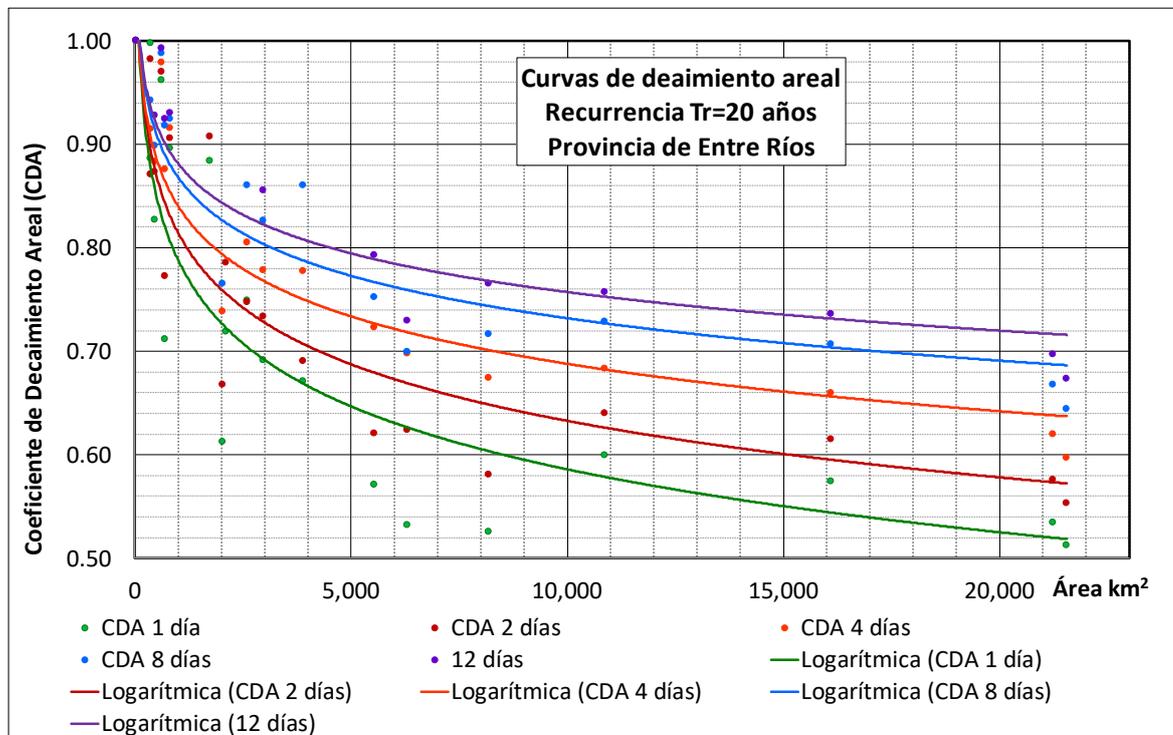
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,0734 \cdot \ln(A) + 1,345$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,0615 \cdot \ln(A) + 1,292$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,0545 \cdot \ln(A) + 1,268$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,0505 \cdot \ln(A) + 1,252$$

R=20 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,0877 \cdot \ln(A) + 1,394$$

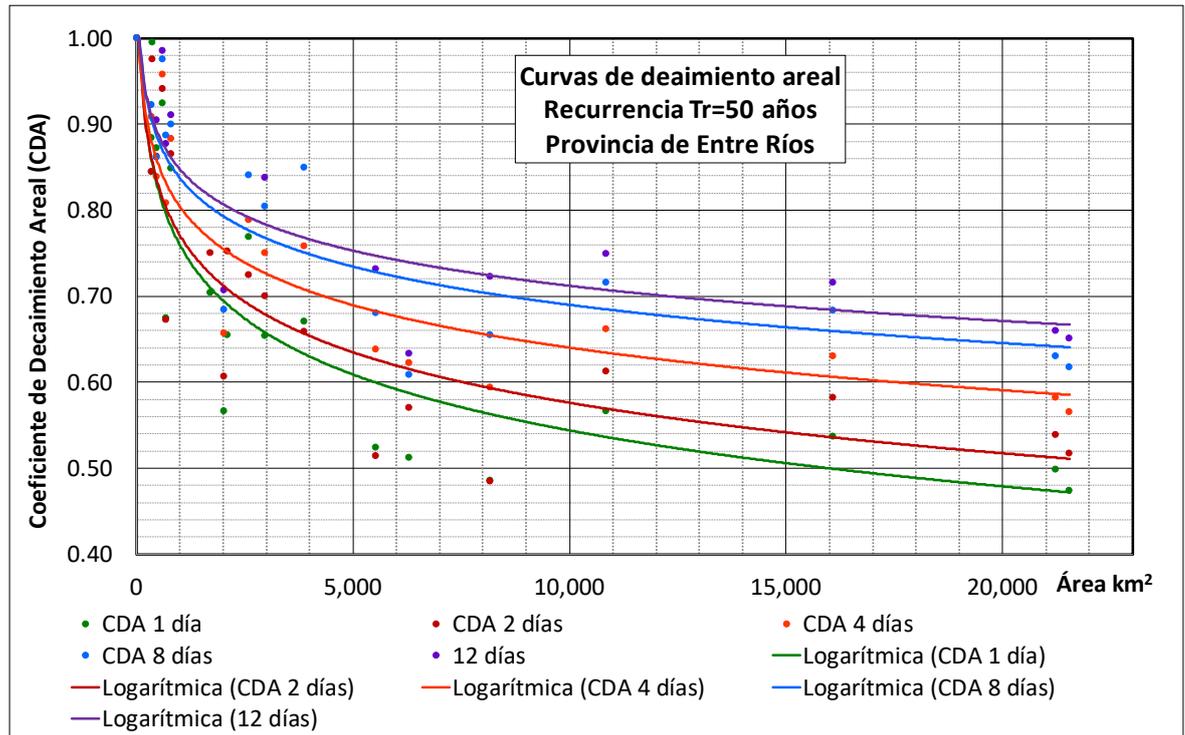
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,0788 \cdot \ln(A) + 1,358$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,0661 \cdot \ln(A) + 1,297$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,0591 \cdot \ln(A) + 1,276$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,0538 \cdot \ln(A) + 1,253$$

R=50 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,0938 \cdot \ln(A) + 1,408$$

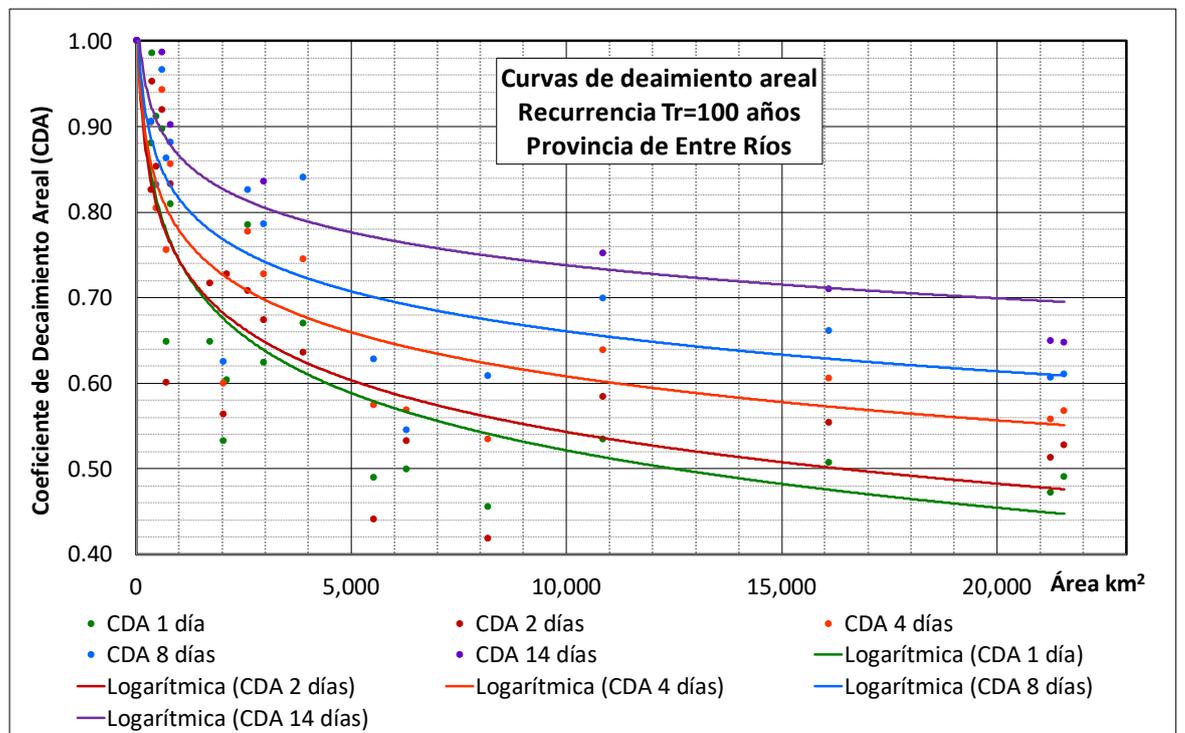
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,0847 \cdot \ln(A) + 1,357$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,0714 \cdot \ln(A) + 1,298$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,0642 \cdot \ln(A) + 1,281$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,0590 \cdot \ln(A) + 1,255$$

R=100 años



$$CDA (1 \text{ día}) = -0,0967 \cdot \ln(A) + 1,412$$

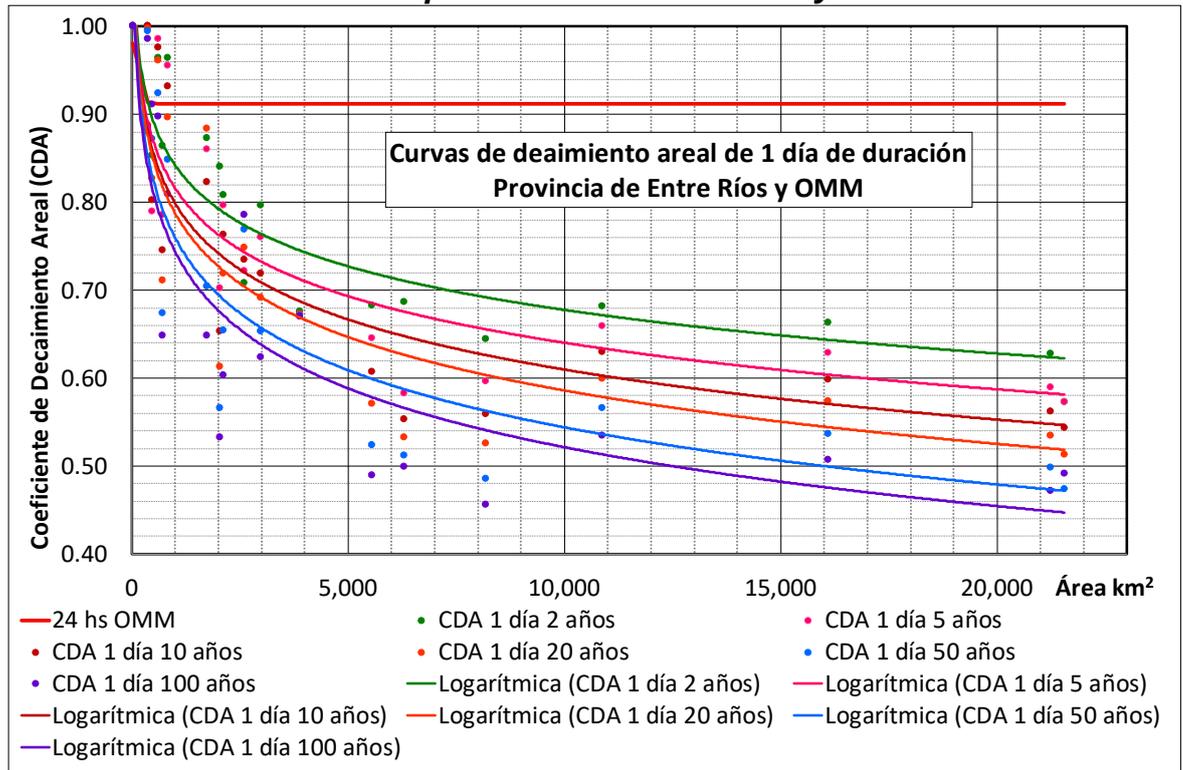
$$CDA (2 \text{ días}) = -0,0872 \cdot \ln(A) + 1,346$$

$$CDA (4 \text{ días}) = -0,0742 \cdot \ln(A) + 1,291$$

$$CDA (8 \text{ días}) = -0,0673 \cdot \ln(A) + 1,281$$

$$CDA (12 \text{ días}) = -0,0557 \cdot \ln(A) + 1,251$$

CDA 1 día de duración. Comparativa curva Entre Ríos y OMM



$$CDA_{OMM} (24 \text{ horas}) = 1 - e^{(-1,1 \cdot 24^{0,25})} + e^{(-1,1 \cdot 24^{0,25} - 0,01 \cdot A)}$$

5 CONCLUSIONES

El análisis y tratamiento de los datos pluviométricos de la red provincial posibilitó la obtención de series de precipitaciones medias areales en las grandes cuencas provinciales y a partir de ellas determinar curvas IDF asociadas a subcuencas con cierres en secciones que podrían ser de interés para futuros estudios hidráulicos en diseños de obras, planes de ordenamiento territorial, entre otros.

En el desarrollo del estudio para alcanzar el objetivo final, construir curvas IDF para el diseño de tormentas en cuencas extensas, se obtuvieron subproductos de relevancia como insumos para otros estudios, tales son la base de datos pluviométricos desarrollada en plataforma SIG y las curvas de decaimiento areal para cada cuenca y provincial.

5.1 BASE DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS ESPACIAL

La base de datos desarrollada en plataforma SIG permite la representación espacial de las estaciones pluviométricas a las que se les asociaron los datos de precipitaciones diarias de los últimos 30 años. Este subproducto es el resultado de una tarea de verificación de ubicaciones de las estaciones y análisis de la calidad de los datos permitiendo la explotación confiable de la información.

En la etapa de análisis de los datos recopilados se constató que los registros presentaban interrupciones en sus mediciones en la mayoría de las estaciones y algunas de ellas eran de instalación reciente presentando un corto período de registros. En lo que respecta a la distribución areal de las estaciones se observó una heterogeneidad con áreas considerables sin cubrir.

La categorización de las estaciones en función de su cobertura temporal y su representación espacial posibilitó realizar una selección de las estaciones para conformar las redes en cada cuenca con pluviómetros con datos suficientes para el cálculo de las PMA o que requieran un rellenamiento posterior admisible.

La metodología de rellenamiento mediante estimación de datos faltantes con técnica de interpolación IDW dio resultados satisfactorios al contrastar las estaciones rellenas con pluviómetros confiables.

5.2 CURVAS DE DECAIMIENTO AREAL

El CDA estimado en este trabajo es función de la superficie de la cuenca y de la recurrencia de la lluvia, tal como se recomienda en Caamaño Nelli *et al.* (2003) y con el valor agregado que ha sido desarrollado a partir de datos observados en la región por lo que es de esperar que su aplicación permita obtener mayor exactitud en los resultados en comparación al uso de las curvas de decaimiento areal deducidas por el U.S. Weather Bureau (1958) y de uso extendido en estudios realizados en nuestro país pero con la desventaja que provienen de observaciones realizadas en zonas con distintas características meteorológicas.

REFERENCIAS

- Aguilera Navarro, M. A. (2007). *Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule*. Talca, Chile: Universidad de Talca; Facultad de Ciencias Forestales.
- Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Balderas, México: Limusa.
- Ashakar, F.; T.B.M.J Ouarda, R. Roy and B. Bobée. (1993). *Robust estimators in hydrologic frequency analysis, in Engineering Hydrology*. Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).
- Bacchiega, D.; Bertoni, J.C. y Maza, J.A. (2004). *Pericia hidráulica referida al Expediente N° 1341/2003*. Juzgado de Instrucción Penal de la 7ma. Nominación. Poder Judicial de la Provincia de Santa Fe. Argentina.
- Bertoni, J.; Pedrazza, R.; Collins, J.; Macor, J; Pusineri, G.; Ocampo, C.; Mazza, J.; y Secchi, A. (1995). *Sistemas de Drenaje Urbano*. Inédito. Curso sobre Drenaje Urbano. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral; Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.
- Boschetti N.G.; Quintero C. y Giuffre L. (2009). *Phosphorus fractions of soil under Lotus corniculatus as effected by different phosphorus fertilizer*. Biology and Fertility of Soil, 45:379- 384. ISSN: 1432-0789 (Online).
- Caamaño Nelli, G. y Dasso C. M. (2003). *Lluvias de Diseño. Conceptos, Técnicas y Experiencias*. Córdoba. Argentina: Editorial Científica Universitaria.
- Caamaño Nelli, G. y Dasso, Clarita M. (2011). *Lluvia de diseño sin atenuación de datos locales para una cuenca*. Cuadernos del CURIHAM (pp 83-93). Rosario, Argentina.
- Cacik, P. (2001). *Red Hidrológica e Hidrometeorológica de la Provincia de Entre Ríos*. Inédito.
- Catalini, C.G. (2001). *Altura Areal de Lluvia para Diseño en la Cuenca del Río San Antonio*. Trabajo Final de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, UCC. Córdoba, RA.

- Catalini, C. G.; Caamaño Nelli, G. y García C. M. (2002). *Curvas de Decaimiento Areal de Lluvias de Diseño: Efectos de la Topografía y el Clima sobre su Forma*. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. IARH. La Habana, Cuba.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. y Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw Hill.
- Chow, V.T.; Maidment, D.R. y Ways, L.W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Buenos Aires: McGraw-Hill.
- Clark, C.O. (1945). *Storage and the Unit Hydrograph*. Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).
- Cruz Gamiz, M. (1999). Determinación de la tormenta de diseño. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* (pp. 27-30).
- Daniil E.I.; S.N. Michas y L.S. Lazaridis. (2005). *Hydrologic modeling considerations for flood management in ungaged basins*. Trabajo presentado en 9th International Conference on Environmental Science and Technology. Isla de Rodas, Grecia.
- Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos. (2012). *Información técnica de los pluviómetros*. En página web, última vez accesible el 24/06/2017 en: http://www.hidraulica.gob.ar/pluviometros_descripcion.pdf
- Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos. (2003). *Sistema de información geográfica de los recursos hídricos de Entre Ríos. Características físicas de las cuencas*. En página web, última vez accesible el 08/07/2017 en: <http://www.hidraulica.gob.ar/cuencas.php>
- Encyclopaedia Britannica, inc. (1992). Entre Ríos. En *Enciclopedia Hispánica: Macropedia* (Vol. 5, pp. 395 y 396). Universidad de Michigan.
- Fleming, G. (1977). *Computer Simulation Techniques in Hydrology*. Universidad de Strathclyde. Nueva York: Ed. Elsevier.

- García, C. M.; Catalini, C. G. y Caamaño Nelli, G. (2000). *Distribución Espacial de la Lluvia de Diseño en una Cuenca de Montaña*. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Tomo II. IARH. Córdoba, Argentina.
- Graf, J.; Garklavs, G. y Oberg, K. A. (1982). *A Technique for estimating time of concentration and storage coefficient values for Illinois streams*. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en cooperación con la División de Recursos de Agua del Departamento de Transportes de Illinois.
- Gravelius, H. (1914). *Grundriss der gesamten Gewässerkunde. Bd. 1, Flusskunde*. Berlín: G.J. Göschen.
- Gumbel E. J. (2004). *Statistics of Extremes*. Courier Dover Publications. ISBN: 978-0486436043.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Boletín de la Sociedad Americana de Geología (American Geological Society Bulletin)*. Disponible en (último acceso 24/06/17): http://www.geos.ed.ac.uk/homes/s0451705/horton_1945.pdf
- INTA - Gobierno de Entre Ríos. (1986). *Carta de suelos de la República Argentina, Departamento Feliciano*.
- Keifer, C. J. y Chu, H. H. (1957). Synthetic Storm Pattern for Dranaige Design. *Journal of Hydraulic Division* (Vol. 83). Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).
- Kirpich, Z.P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Journal of Civil Engineering* (Vol.10 (n.6). p. 362).
- OMM N° 8. (2008). *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*. Séptima Edición. Ginebra.
- OMM N° 100. (2011). *Guía de Prácticas Climatológicas: Tiempo, Clima, Agua* (p. 2-12). Tercera Edición. Ginebra.

- OMM N° 168. (2011). *Guía de Prácticas Hidrológicas: Adquisición y Proceso de datos, Análisis, Predicción y Otras Aplicaciones (pp. 443-452)*. Sexta Edición. Ginebra.
- Pérez J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Meteorología e Hidrología. Caracas - Venezuela.
- Pedraza, Raúl. (2010). *Unidad 1: Cuenca hidrográfica y aproximación de sistemas*. Curso: Hidrología de Superficie. Universidad Nacional del Litoral; Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.
- Provincia de Entre Ríos. (1988). *Estudio hidrológico cuenca del río Gualeguaychú*. Convenio A y E. Sector Hidrología.
- Quintero, Cesar. (2013). *Manejo de nutrientes en Entre Ríos*. Universidad Nacional de Entre Ríos; Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Riccardi, Gerardo A. (1997). *La transformación lluvia caudal en ambientes rurales y urbanos. Los procesos hidrológicos y el modelado*. Cuadernos del CURIHAM (Vol. 4) 2do semestre. Rosario, Argentina.
- Rojas, A.E C. de y Saluso, J. (1987). *Informe climático de la provincia de Entre Ríos*. Publicación Técnica N° 14. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Paraná: 20 p.
- Rojo, Julián David. (2012). *Morfometría*. Curso de Hidrología. Universidad Nacional de Colombia.
- Sabattini, R; Wilson, M.; Muzzachiodi N. y Dorsch, A. F. (1999). *Guía para la caracterización de agrosistemas del centro-norte de Entre Ríos*. Universidad Nacional de Entre Ríos; Facultad Ciencias Agropecuarias.
- Sarrailh, Efi E. O; Andina, M. (1992). *Manual de Geografía: Argentina*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Schumm, S.A. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in bad lands at Perth, Amboi, New Jersey. Geol. Soc. Ame. Bull. 597-646.

- Servicio Meteorológico Nacional. (1989). Ciclo hidrológico. *Boletín Informativo*. (N°32). S.M.N./F.A.A.
- Servicio Meteorológico Nacional. (1989). La observación meteorológica. *Boletín Informativo*. (N°44). S.M.N./F.A.A.
- Straub, T.; Melching, C. y Kocher, K. (2000). *Equations for Estimating Clark Unit-Hydrograph Parameters for Small Rural Watersheds in Illinois*. Illinois: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).
- Subsecretaría de Recursos Hídricos - Evarsa (2004). *Estadística Hidrológica de la República Argentina*.
- Tasi, H. A.; Pérez, M. y Guglielmone. (2012). *Aplicación del modelo SQRT-ETmax en la estimación de precipitaciones máximas diarias de la provincia de Entre Ríos*. En III Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Rosario, Argentina: Ed. Universidad Nacional de Rosario.
- Témez, J. R. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras. Madrid, España.
- Témez, J. R. (1991). *Extended and improved Rational Method*. Proc. XXIV Congress. Madrid, España. Vol. A.
- Témez, J. R. (2003). *Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales*. Rev. Obras Púb.
- Thompson, David B (2006). *The Rational Method*. Texas Tech University; Civil Engineering Department.
- Tucci Morelli, Carlos E. (2007). *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Cuarta Edición. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Varas, E. y Bois, P. (1998). *Hidrología probabilística*. Santiago: Editorial Universidad Católica de Chile.

- Zamanillo, E. A.; Larenze, G. R.; Tito, M. J.; Pérez, M. M. y Garat, M. E. (2008). Procedimientos para la Estimación de Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos. *Hypatia*. Universidad Tecnológica Nacional; Facultad Regional Concordia.
- Zamanillo, E. A.; Larenze, G. R.; Tito, M. J.; Pérez, M. M. y Garat, M. E. (2008). *Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos*. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.
- Zimmermann, E. D.; Riccardi, G.; Pieroni, H. y Arraigada, M. (2000). "Curvas de Abatimiento Areal de Tormentas Región Pampa Ondulada (Santa Fe, Argentina)". Cuadernos del CURIHAM (Vol. 7. N°1. pp 24-27). Rosario, Argentina.

ANEXOS

Se presenta en formato digital la siguiente información:

- ❖ Base de datos espacial red pluviométrica provincial (Archivos ArcGIS)
- ❖ Planillas electrónicas información pluviométricas de las estaciones

Este texto recopila los resultados de la investigación desarrollada por el grupo de investigación en Hidrología del departamento Ingeniería Civil, de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Paraná, desarrollado en el marco de un Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID3882).

Durante el ejercicio profesional, a los ingenieros civiles se les encomienda el diseño de obras de infraestructura para los cuales la determinación de caudales a partir de la estimación de tormentas de diseño es una variable de interés. Muchas de las cuencas de Entre Ríos abarcan vastas extensiones territoriales, en las que no puede suponerse homogeneidad tempo- espacial de la precipitación y estimar tormentas de diseño a partir de curvas IDF de estaciones puntuales, como suele hacerse en cuencas más pequeñas.

Es por ello que, aprovechando la gran cantidad de registros pluviométricos disponibles en la provincia, se encaró este estudio que tuvo como uno de sus objetivos la determinación de familias de curvas IDF para tormentas de larga duración, para las principales cuencas y subcuencas de la provincia.

Analizando la información disponible, se tomó como periodo de análisis 30 años de registros, que fueron digitalizados y evaluados. Se efectuó un proceso de categorización y selección, de estaciones para definir las estaciones representativas para el estudio para cada una de las cuencas, utilizando como herramienta un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los registros fueron completados para obtener series continuas y se validación de los datos pluviométricos disponibles. Se delimitaron subcuencas para cada una de las cuencas principales, y con esta base de datos de estaciones seleccionadas se generaron series de Precipitación Media Areal (PMA) para cada una de las cuencas, y sus subcuencas a través de la generación de pluviómetros ficticios. Mediante un análisis de frecuencia se determinaron las curvas IDF para cada una de las cuencas y subcuencas, para distintas recurrencias y varias duraciones de interés que superasen el tiempo de concentración de las cuencas.

Para hacer extensivos los resultados obtenidos a otras subcuencas , se construyeron curvas de abatimiento areal para distintas recurrencias, que reflejan el amortiguamiento en las intensidades de precipitación para cada cuenca estudiada.

Los resultados obtenidos serán de gran utilidad en el estudio hidrológicos de cuencas extensas de la provincia de Entre Ríos, en los cuales la incertidumbre está relacionada en gran medida a la estimación de la precipitación media ocurrida en la cuenca.