

2

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

HIDROLOGIA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

- ◆ **Hidrología superficial**
Hidrologia superficial
- ◆ **Hidrología subterránea**
Hidrologia subterrânea
- ◆ **Hidrología estadística**
Hidrologia estatística
- ◆ **Hidrología operacional**
Hidrologia operacional
- ◆ **Eventos hidrometeorológicos extremos**
Eventos hidrometeorológicos extremos
- ◆ **Hidrología urbana**
Hidrologia urbana

SIMULACIÓN HIDROLÓGICA EN LA CUENCA DEL RÍO MALA USANDO MODELOS HIDROLÓGICOS SEMIDISTRIBUIDOS <i>David Yaranga Lázaro y Lía Ramos Fernández</i>	625
ESTIMACIÓN DE NIVELES MÁXIMOS ORDINARIOS (NAMO) DE INVIERNO Y DE VERANO PARA UNA PRESA HIDROELÉCTRICA DE MÉXICO <i>Ramón Domínguez Mora, Maritza Liliana Arganis Juárez, Eliseo Carrizosa Elizondo y Rosalva Mendoza Ramírez</i>	630
FACTORES REGIONALES PARA OBTENER GASTOS MEDIOS MÁXIMOS PARA DISTINTAS DURACIONES <i>Maritza Liliana Arganis Juárez, Ramón Domínguez Mora, Eliseo Carrizosa Elizondo y Óscar A. Fuentes Mariles</i>	640
APLICACIÓN DEL PAQUETE cfsv2R EN R PARA PRONÓSTICO DE PRECIPITACIÓN DIARIA EN TIEMPO REAL <i>Iván Latorre y Lina Castro</i>	650
VOLÚMENES DE USO DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS MEDIANTE EL DESARROLLO DE HERRAMIENTA GEOINFORMÁTICA <i>Citlalli Astudillo Enríquez y María de los Ángeles Suárez Medina</i>	662
FÓRMULA DE BELL AJUSTADA PARA EL CÁLCULO DE LAS CURVAS I-D-TR A PARTIR DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS <i>Marcelino Del Angel y Ramón Domínguez</i>	671
ANÁLISIS DETALLADO DE METODOLOGÍAS PARA DEFINICIÓN DE ÍNDICES DE SEQUÍA: CASO CUENCA RÍO SUMAPAZ, COLOMBIA <i>Laura Patricia Torres Rojas y Mario A. Díaz-Granados Ortíz</i>	680
PROCEDIMIENTOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LA GRAVEDAD DE EVENTOS REGIONALES DE SEQUÍA - CUENCAS SUMAPAZ Y LEBRIJA, COLOMBIA <i>Laura Patricia Torres Rojas y Mario A. Díaz-Granados Ortíz</i>	692
MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DE LAS MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA DEL RIO LURÍN - PERÚ <i>Eduardo Chávarri Velarde y Kevin Cardich Motta</i>	704
MODELADO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO Y CONTINUO EN CUENCAS DE CÓRDOBA (ARGENTINA) - RESULTADOS PRELIMINARES <i>Juan F. Weber y Santiago Baigorri Ocampo</i>	716
CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL IMPACTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE SUELOS DE CÓRDOBA (ARGENTINA) <i>Juan F. Weber y Santiago M. Reyna</i>	728
METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DE LAS CURVAS IDF, A PARTIR DE LA LLUVIA MAXIMA EN 24 HORAS DE LA REGION COSTA E INSULAR DE ECUADOR <i>Ángel Montoya</i>	740
EVOLUCION DE LA HIDROLOGIA URBANA EN LA CIUDAD DE MEXICO (1325-2018) <i>Agustin Felipe Breña Puyol y María Francisca Naranjo Pérez de León</i>	752
MANEJO DEL AGUA EN GRANDES CIUDADES: ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO <i>Agustin Felipe Breña Puyol, Claudia Rojas Serna y Marco Antonio Jacobo Villa</i>	764
GENERACIÓN ESTOCÁSTICA DE SERIES DE CAUDALES PARA EL ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL EMBALSE EL SUSPIRO. ESTUDIO DE CASO <i>Jacinto Rivero Solórzano, Andrés Ibarra Díaz y Luis Moya Chávez</i>	776

MODELO DE OPERACIÓN DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DEL PLAN DE RIEGO Y DRENAJE DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA. ESTUDIO DE CASO <i>Jacinto Rivero Solórzano, Andrés Ibarra Díaz y Luis Moya Chávez</i>	788
PROPOSTA DE ESTUDO DE FATORES CONDICIONANTES QUE INFLUENCIAM NO ALINHAMENTO DA ORLA DE LAGOAS URBANAS <i>Jorge Lucas Ferreira</i>	800
COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA OBTENER EVENTOS DE DISEÑO EN LAS REGIONES HIDROLÓGICAS 24 Y 25 DE LA REPÚBLICA MEXICANA <i>Andrés Olaf Santana Soto, Ramón Domínguez Mora, Eliseo Carrizosa Elizondo y Mario Ponce Soria</i>	811
REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES PARA OBTENER LLUVIAS DE DISEÑO EN EL ESTADO DE VERACRUZ <i>Mario Ponce Soria, Ramon Domínguez Mora, Eliseo Carrizosa Elizondo y Andrés Olaf Santana Soto</i>	820
EVALUACIÓN TEMPORAL DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN UNA CUENCA HIDROLÓGICA USANDO EL MODELO DEL BALANCE DE AGUA EN EL SUELO (SWB) <i>Mauricio José Ríos, Fermín Pascual Ramírez, Rosalva Mendoza Ramírez y Rodolfo Silva Casarín</i>	828
¿CUÁNTA AGUA PUEDE SER BOMBEADA DE UN ACUÍFERO SIN QUE ÉSTE DEJE DE SER SOSTENIBLE? <i>Victor M. Ponce, Janaína da Silva y Jorge Prieto Villarroya</i>	835
APLICAÇÃO DO MODELO SWMM PARA AVALIAÇÃO DE TÉCNICA LID COM VALORIZAÇÃO DE CURSO D'ÁGUA <i>Fabiana Lanzillotta da Fonseca, Celso Romanel y Ernani de Souza Costa</i>	847
ESTUDO EXPERIMENTAL DO CONCRETO PERMEÁVEL <i>Patricia Tainá da Silva Correa Antunes y Antônio Roberto Martins Barboza de Oliveira</i>	858
SIMULACIÓN LLUVIA - CAUDAL CON EL MODELO HEC-HMS EN EL SISTEMA BAÑADO LA ESTRELLA (FORMOSA) <i>María Alejandra Cristanchi, Rosana Hämmerly y Miguel Ángel Valiente</i>	869
CARACTERIZACIÓN DE TORMENTAS MEDIANTE EMAS Y SU COMPORTAMIENTO EN UN CAUCE DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA, MORELOS <i>Vladimir Contreras González, José Avidán Bravo Jácome, Marco Antonio Salas Salinas y Mario López Pérez</i>	880
MODELACIÓN RELACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA EN PROCESOS NO ESTACIONARIOS CON FOKKER-PLANCK-KOLMOGOROV <i>Diana Carolina Palacio Gómez</i>	892
MODELACIÓN HIDROLÓGICA. COMPARACIÓN DE HIDROGRAMAS CALCULADOS CON UN MÉTODO CONCENTRADO Y UNO DISTRIBUIDO <i>Fabian Dario Gonzalez Escalona, Jose Luis Aragón Hernández y Ernest Bladé Castellet</i>	903
¿POR QUÉ, EN UN BALANCE HÍDRICO, RESULTA MÁS ADECUADO UN ENFOQUE CIBERNÉTICO QUE UN ENFOQUE CONVENCIONAL? <i>Victor M. Ponce, Janaína da Silva y Jorge Prieto Villarroya</i>	915
ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN UNA CUENCA ANDINA COLOMBIANA <i>David Felipe Rincón Castañeda, Jorge Julián Vélez Upegui y Olga Lucía Ocampo López</i>	924
EVALUACIÓN DE DEFICIENCIA HÍDRICA EN RÍOS DE MENDOZA <i>Patricia Marta López y Alberto Ismael Vich</i>	931
ANÁLISIS DE LLUVIAS SINTÉTICAS DIARIAS EN LA CUENCA DEL ARROYO SAN ANTONIO. VALLEDUPAR - CESAR <i>Héctor Alfonso Rodríguez Díaz y Andrés Humberto Otálora Carmona</i>	938
RELACIÓN ENTRE VARIABLES Y SEQUÍAS METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARCARAÑÁ, ARGENTINA <i>Leticia Vicario y Carlos Marcelo García</i>	948

SISTEMA DE GESTIÓN DE AMENAZAS HIDROLÓGICAS, SIERRAS DE CÓRDOBA, ARGENTINA EVALUACIÓN LOCAL DE SEVERIDAD <i>Carlos Gastón Catalini, Carlos Marcelo García y Eugenia Raviolo</i>	958
RECUPERACIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA CUTZAMALA, MÉXICO <i>José Luis Herrera Alanís, Ramón Domínguez Mora y Antonio Capella Vizcaino</i>	970
HIDROGRAMAS DE DISEÑO OBTENIDO CON ANÁLISIS DE ESCURRIMIENTOS Y DE PRECIPITACIONES EN CUENCAS DE MÉXICO <i>Adam Hernández Hernández, Maritza Arganis Juárez, Ivonne Pavón Ibarra y Eliseo Carrizosa Elizondo</i>	982
INCERTIDUMBRE EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE SEQUÍAS - SPI EN LA MACROCUENCA MAGDALENA-CAUCA, COLOMBIA <i>Carolina Vega-Viviescas y Erasmo Rodríguez</i>	994
ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPACIO - TEMPORAL DEL CAUDAL DEL RÍO LA GAVIA, MÉXICO <i>Manira E. Narvaez Saucedo, Boris M. López Rebollar, Iván G. Martínez Cienfuegos, Samuel Tejeda Vega, Leonarda M. Flores Gutiérrez y Humberto Salinas Tapia</i>	1003
AVANCES EN LA ESTIMACIÓN DE LÁMINAS DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS Y SUS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS EN ARGENTINA <i>Nicolás Federico Guillén, Carlos Gastón Catalini, Carlos Marcelo García y Myriam Cecilia Botelli</i>	1015
MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA TRANSPATAGÓNICA DEL RÍO PUELO: APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS <i>Rodrigo Aguayo, Jose Vargas y Jorge León Muñoz</i>	1021
MODELACIÓN HIDROLÓGICA DIARIA EN CUENCAS CON DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DE URUGUAY <i>Santiago Narbondo, Magdalena Crisci y Christian Chreties</i>	1032
APLICACIÓN Y CALIBRACIÓN PRELIMINAR DE UN MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO EN UNA CUENCA FUERTEMENTE ANTROPIZADA <i>Juan F. Weber, Pablo T. Stehli y Leandro Vestena</i>	1041
REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES PARA LA OBTENCIÓN DE LLUVIAS DE DISEÑO EN EL ESTADO DE OAXACA <i>Roberto Abraham Vázquez Martínez, Eliseo Carrizosa Elizondo y Ramón Domínguez Mora</i>	1053
ESTUDIO DE TORMENTAS DE DISEÑO EN LA CUENCA DEL ARROYO FELICIANO EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS <i>Mayra Daniela Collante Wojcicki, Vanesa Estefanía Gimenez, María Inés Mastaglia, Rodolfo Sato, Patricia Viviana López y Natalia Cattaneo</i>	1062
CAMBIO CLIMÁTICO: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA TEMPERATURA EMPLEANDO LA TRANSFORMADA DE LEGENDRE <i>Alvaro López-Lambraño, Carlos Fuentes, Alvaro López-Ramos, Mariangela López-Lambraño y Máximo Pliego Díaz</i>	1074
ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA POR DÉFICIT HÍDRICO EN ACUEDUCTOS MUNICIPALES CON PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO EN CALDAS <i>Alejandro Marulanda Aguirre, Olga Lucía Ocampo López y Jorge Julián Vélez Upegui</i>	1081
ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA PROBABLE EN ARGENTINA <i>Flavia Marcela Bazzano, Carlos Marcelo García, Nicolás F. Guillén, Gabriel Eduardo Caamaño Nelli, Magdalena Baraquet y Carlos Gastón Catalini</i>	1091
DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE MEDICIÓN EN MEDICIONES ESTACIONARIAS CON ADCP <i>José Manuel Díaz Lozada, Carlos Marcelo García, Agustín López y Kevin A. Oberg</i>	1103
ESTIMACIÓN DE LA EROSIVIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN EL NORTE GRANDE DE CHILE <i>Bastián Sáez y José Vargas</i>	1110

MODELOS HIDROLÓGICOS DE APOYO A LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA BINACIONAL DEL RÍO CUAREIM/QUARÁÍ <i>Christian Chreties, Rafael Kayser, Magdalena Crisci, Angela Gorgoglione y Walter Collischonn</i>	1121
METODOLOGÍA PARA LA DESAGREGACIÓN ESPACIAL DE CAMPOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN CON MODELOS REGRESIVOS: APLICACIÓN EN COLOMBIA <i>Santiago Vergara, Juan Pablo Rendón-Álvarez, Óscar David Álvarez-Villa y Paola Andrea Arias</i>	1132
RETOS HIDROLOGÍA ADIMENSIONAL <i>Oswaldo Ortiz Vera, Jean Carlos Tirado Fabian y Jhonath Wensenber Mejia Gonzales</i>	1144
TRIADA DE PREDICCIÓN HIDROLÓGICA <i>Oswaldo Ortiz Vera, Jean Carlos Tirado Fabian y Jhonath Wensenber Mejia Gonzales</i>	1154
ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA CIUDAD DE MANIZALES, COLOMBIA <i>Luisa Fernanda Calderón Castaño, Jorge Julián Velez Upegui y Blanca Adriana Botero Hernández</i>	1165
METODOLOGÍA PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES CON ÍNDICE DAÑO PÉRDIDA-POSESIÓN <i>Eduardo Hernández Samaniego, José Manuel Rodríguez Varela, Claudia Elizabeth Cervantes Jaimes y Oscar Jesús Llaguno Guilberto</i>	1176
HYDRO-BID, UN MODELO PARA ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS Y SU VARIABILIDAD POR CAMBIOS CLIMATICOS <i>Marcelo Borsellino, Fekadu Moreda, Mauro Nelasso y Pedro Coli</i>	1188
USO DE DATOS DE RADAR PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA CUENCA DEL RÍO EL SABINAL, CHIAPAS, MÉXICO <i>Jomaelah Morales Rayo, José Manuel Rodríguez Varela, Oscar Jesús Llaguno Guilberto y Olivia Rodríguez López</i>	1200
EFFECTOS DE LAS ESCALAS ESPACIO - TEMPORALES SOBRE LOS FACTORES R Y LS DEL MODELO RUSLE <i>Juan Daniel Rios Arboleda, Lilian del Socorro Posada García y José Humberto Caballero Acosta</i>	1212
HERRAMIENTAS HIDROINFORMÁTICAS Y CONSIDERACIONES PARA MODELAR PROCESOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS ACOPLADOS MEDIANTE WEAP-MODFLOW <i>Pedro Sanzana, Jorge Gironas, Isabelle Braud, Nancy Hirschfeld, Ximena Vargas, Sebastián Vicuña, José F. Muñoz, Rodrigo Villegas, Eduardo Rubio y Rodrigo Herrera</i>	1221
MODELIZACIÓN DE UN EVENTO DE LLUVIA TORRENCIAL PARA UNA CIUDAD DE MEDIA MONTAÑA ANDINA CON EL MODELO WRF <i>Joan Nathalie Suárez Hincapié, Sergio Andrés Gutierrez Zárate y Jorge Julián Vélez Upegui</i>	1237
EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LA TÉCNICA DE REDUCCIÓN DE ESCALA CSD (CHAOTIC STATISTICAL DOWNSCALING) EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ <i>Freddy Duarte, Gerald Corzo, Germán Santos y Oscar Hernández</i>	1248
SENSIBILIDAD DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA <i>Luis Silveira, Christian Chreties, Jimena Alonso, Gabriel Cazes, Alejandra De Vera y Magdalena Crisci</i>	1259
EL PAPEL DE LOS SISTEMAS CONVECTIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA CUENCA TROPICAL DE MONTAÑA <i>Sandra Patricia Salamanca Jimenez, Nicolas Velásquez Giron, Vanessa Alexandra Lopera Mazo y Jaime Ignacio Vélez Upegui</i>	1267
EL BALANCE HÍDRICO DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO PERUANO EN EL CONTEXTO DE CAMBIO HIDROCLIMÁTICO (1970-2008) <i>Pedro Rau, Luc Bourrel, David Labat, Denis Ruelland y Waldo Lavado</i>	1279
INFLUENCIA DE LA CAVA BORGIO EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE URBANO EN EL NORTE DE LA CIUDAD DE SANTA FE, ARGENTINA <i>Ana Laura Fedele, Mónica Patricia D'Elia y Felipe Roberto Franco</i>	1291
BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL ARROYO ALBUERA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES <i>Tomás Bran, Pablo Palmeyro, Mariana Torrero y Susana Viñes</i>	1302

CUANTIFICACIÓN ESTIMATIVA DE IMPACTOS HIDRÁULICOS Y ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN DRENAJE URBANO: CONCORDIA (E.R.) Y SANTA FE <i>Adolfo Villanueva, Eugenia Garat, Agustina Spais y Gerardo Riccardi</i>	1314
EXPLORACIÓN DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN GOOGLE EARTH ENGINE PARA DIFERENTES APLICACIONES REGIONALES <i>Alejandro Tobón, Santiago Vergara, Julio Eduardo Cañón, Paola Andrea Arias y Óscar David Álvarez-Villa</i>	1326
APROXIMACIÓN DEL TIEMPO BASE DE AVENIDAS MÁXIMAS ANUALES DE HIDROMÉTRICAS DE UNA REGIÓN HIDROLÓGICA A PARTIR DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y DEL ÁREA DE LA CUENCA <i>Brenda Rodríguez Hidalgo, Maritza Liliana Arganis Juárez, Ramón Domínguez Mora, Eliseo Carrizosa Elizondo y Gabriela Esquivel Garduño</i>	1335
PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MODELACIÓN DEL IMPACTO DE LA MINERÍA DE CARBÓN EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DE CUENCAS DE MONTAÑA <i>Nicolás Fernández, Luis Camacho, Neil McIntyre, María del Carme Huguet y Jillian Pearse</i>	1343
CURVA-CHAVE OBTIDA POR SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA <i>Franciele Maria Vanelli, Leonardo Romero Monteiro y Fernando Mainardi Fan</i>	1352
METODOLOGÍA PARA LA SIMILITUD HIDROLÓGICA EN CUENCAS HERMANAS, CASO BOSQUE LA PRIMAVERA, MÉXICO <i>María del Mar Navarro Farfán, Sonia Tatiana Sánchez Quispe, Mario Alberto Hernández Hernández, Julio Cardiel Díaz y Marco Antonio Martínez Cinco</i>	1364
PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DISTRIBUIDO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL VALLE DEL CAUCA <i>Yobana Arias Arias y Jeannette del Carmen Zambrano Nájera</i>	1373
OBTENCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA ZONA DEL BOSQUE LA PRIMAVERA, MÉXICO <i>María del Mar Navarro Farfán, Sonia Tatiana Sánchez Quispe, Mario Alberto Hernández Hernández, Daniel Rodríguez Licea y Marco Antonio Martínez Cinco</i>	1385
INDICADORES DE DESEMPEÑO EN LA DISTRIBUCIÓN DE AGUAS PARA RIEGO EN EL DEPARTAMENTO 25 DE MAYO, PROVINCIA DE SAN JUAN <i>Silvia Mérida</i>	1393
INCERTEZAS E IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS <i>Carolina Natel de Moura, Miriam Rita Moro Mine y Eloy Kaviski</i>	1402
IMPACTO HIDROLÓGICO DA BARRAGEM OESTE EM TAIÓ, BRASIL, NO AMORTECIMENTO DE CHEIAS DO RIO ITAJAÍ DO OESTE <i>Carolina Natel de Moura, Laís Gonçalves Fernandes, Júlio Gomes, Guilherme Xavier de Miranda Jr. y Everton Vieira</i>	1414
FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA PARA EL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO <i>Sinuhé Sánchez, Fernando González, Ramón Domínguez y Adam Hernández</i>	1426
EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TÉCNICAS DE DISEÑO DE REDES DE MONITOREO HIDROCLIMATOLÓGICO EN CUENCAS URBANAS DE COLOMBIA. CASO DE ESTUDIO MUNICIPIO DE IBAGUÉ <i>Pedro Antonio Chacón Moreno, Jeannette del Carmen Zambrano Nájera y Nelson Obregón Neira</i>	1434
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA FORMACIÓN ABRUPTA DE CURSOS FLUVIALES EN CUENCAS SEMIÁRIDAS SEDIMENTARIAS <i>Nicolás Buono, Esteban Jobbágy, Marcelo Nosetto, Ángel Menéndez y Raúl Cáceres</i>	1444
MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA LOCALIDAD DE HERNANDO, PROVINCIA DE CÓRDOBA <i>María Florencia Terré, Facundo José Alonso, Juan Carlos Bertoni y Ricardo Ingaramo</i>	1456
IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS HIDROLÓGICOS PROBABILÍSTICOS PARA SALTO GRANDE <i>Rodolfo Alvarado Montero, Nicolás Failache Gallo, Jan Talsma, Eduardo Zamanillo y Juan Badagian</i>	1468

MODELAGEM E SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA NUMA PEQUENA BACIA DO SEMIÁRIDO PARAIBANO, BRASIL <i>Eduardo Eneas de Figueiredo y José Junji Ota</i>	1476
HIDROGRAMA DE DESCARGA DE UNA PRESA CALCULADO CON UNA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE GASTO MÁXIMO Y VOLUMEN <i>Óscar Arturo Fuentes Mariles, Maritza Liliana Arganis Juárez, Eduardo Omar Copca Maya y Raúl Daniel Hernández Arumir</i>	1486
ESTUDIO DE LA DINÁMICA LAGUNAR EN EL DISTRITO DE VENADO TUERTO MEDIANTE HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS <i>Magalí Valeria Soria, Vanina Alejandra Piñero, Nicolás Ledesma y Pedro Abel Basile</i>	1499
TIEMPO DE ENTRADA DE AVENIDAS MÁXIMAS EN UN VASO DE ALMACENAMIENTO <i>Ana María Solís Encarnación y Claudia Rojas Serna</i>	1507
ANÁLISIS MULTICRITERIO DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE GESTIÓN DE SEDIMENTOS EN EMBALSES MEDIANTE MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA <i>Manuela Otalvaro, Sergio Posada, Juan Camilo Rojas y Blanca A. Botero</i>	1513
ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES EXTREMAS EN EL CENTRO DE MÉXICO MEDIANTE INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO <i>Ruperto Ortiz Gómez, Luis Javier Muro Hernández y Jesús Enrique León Jiménez</i>	1526
IMPLEMENTACIÓN EFICIENTE DE UN CÓDIGO EN PARALELO PARA RESOLVER LA ECUACIÓN DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN MEDIOS HETEROGÉNEOS Y ANISÓTROPAS <i>Oscar D. Álvarez-Villa, Santiago Ospina, Kevin A. Pérez, Gaspar Monsalve, Daniela Blessent y Jaime I. Vélez</i>	1538
ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE BORDA LIVRE RESULTANTE DA AÇÃO DOS VENTOS EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO <i>Mariana Sampaio Barrozo, Nathália Couto Machado, Gladstone Rodrigues Alexandre y André Wilhiam Lauriano</i>	1550
UTILIZACIÓN DE ALGUNOS AFOROS DE GASTO EN CUENCAS NO AFORADAS <i>Claudia Rojas Serna, Claude Michel, Charles Perrin y Vazken Andréassian</i>	1563
PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN HIDROLÓGICA DEL RADAR METEOROLÓGICO ARGENTINO RMA1 <i>Celina Furbatto, Ricardo Ingaramo, Raúl Comes, Gastón Petroli, Andrés Rodríguez y Alberto Villa Uría</i>	1571
REGIONALIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM MODELO CHUVA-VAZÃO ENTRE ESCALAS PROGRESSIVAS DE SUB-BACIAS <i>Thaís Gualarte Marques, Tiago Francisco Celar, Lucas Verino Zanella Giacomelli, Álvaro Prestes Ribeiro y Vitor Souza Viana Silva</i>	1577
CARACTERIZACIÓN DE LLUVIAS DE CORTA DURACIÓN EN LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO <i>Luis Alejandro Olmos, Jorge Prieto Villarroya, J. Guzmán, G. González, María Teresita Pilan y H. Van Meer</i>	1584
UTILIZAÇÃO DO MODELO CAESAR-LISFLOOD NO MAPEAMENTO DE PERIGO POR INUNDAÇÃO BRUSCA. ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SÃO VENDELINO/RS, BRASIL <i>Fernando Campo Zambrano y Masato Kobiyama</i>	1596
MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA DEL ARROYO TORTUGAS, SISTEMA CARCARAÑÁ - CÓRDOBA, ARGENTINA <i>Eliana Jorquera, Javier Alvarez, Carlos Marcelo García, Paolo Gyssels y Micaela Pacher</i>	1604
AVANCE EN EL ESTUDIO DE TORMENTAS CONVECTIVAS <i>Jorge Fabián Bonilla</i>	1611
VARIACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA EN FUNCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO PARA LA CUENCA DEL RÍO MAYO <i>Juan Fco. Gómez Martínez, Juan Antonio López Orozco y José Alfredo González Verdugo</i>	1621

ESCOAMIENTO PLUVIAL EM TELHADOS VERDES EXTENSIVOS DE DIFERENTES ESCALAS <i>Cristiano Gabriel Persch, Rutinéia Tassi, Bruna Minetto y Daniel Gustavo Allasia Piccilli</i>	1629
PREDICCIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES USANDO ÁRBOLES DE REGRESIÓN <i>Julián David Rojo Hernández, Luis Fernando Carvajal Serna y Oscar José Mesa</i>	1635
ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA ANTE DISTINTOS ESCENARIOS DE OFERTA Y DEMANDA EN LA CUENCA DEL RIO SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CÓRDOBA <i>Javier Alvarez, César Luis García y Carlos Marcelo García</i>	1646
PROYECCIONES ESTACIONALES DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL LAGO SAN ROQUE <i>Javier Alvarez, Carlos Marcelo García, Nicolás Federico Guillén, Teresa María Reyna, Rodrigo Marcelo Valdés-Pineda y Juan B. Valdés</i>	1651
APLICACIÓN CON FINES HIDROLÓGICOS DE MODELOS CLIMÁTICOS DE CIRCULACIÓN GLOBAL EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO TERCERO <i>Javier Alvarez, Carlos Marcelo García, Teresa María Reyna, Rodrigo Marcelo Valdés-Pineda, Juan B. Valdés y Josefina Carranza</i>	1657
AQUA-ZERO: SOFTWARE GRATUITO PARA ANÁLISIS HIDROLÓGICOS PRIMERA ETAPA, ANÁLISIS DE FRECUENCIAS <i>Victor Gustavo Cervantes Rico y Javier Murillo Jiménez</i>	1667
OBTENCIÓN DE VALORES IDF EMPLEANDO SERIES DE PRECIPITACIÓN DESAGREGADAS A PARTIR DE UN MODELO DE CASCADA ALEATORIA <i>Andrés Burboa y Claudio Meier</i>	1679
MONTAJE EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN TECHOS VERDES <i>Nicolás Cortes Torres, Andrés F. Duque Montenegro, Angie K. Guasca Gallardo, Roger S. Guio González, Edgar L. Villarreal González y Andrés E. Torres Abello</i>	1688
ANÁLISIS DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO TEPALCATEPEC <i>Iván González Arreguín, Luis Daniel Oseguera Toledo, Omar Lucas Urbina, Sonia Tatiana Sánchez Quispe y Julio César Orantes Ávalos</i>	1699
ESTIMACIÓN DE LA ASOCIACIÓN ENTRE INDICADORES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA NATURAL Y CAUDALES DEL RÍO PARAGUAY A TRAVÉS DE WAVELET <i>Micaela Suriano</i>	1708
DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LA NAPA FREÁTICA EN EL BARRIO MANUEL DORREGO DE LA CABA MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA GIS <i>Sandra Liliana Flores</i>	1717
VALIDACIÓN DEL SATÉLITE METEOROLÓGICO CHIRPS EN LA CUENCA RURRENABAQUE BOLIVIA <i>Freddy Collarani Anagua y Mauricio Villazon Gomez</i>	1728
ADECUACIÓN HIDRÁULICA DE UN TERRAPLÉN FERROVIARIO PARA UN EVENTO DE ALTA RECURRENCIA <i>Alejandro R. Ruberto, Jorge V. Pilar y Marcelo J. M. Gómez</i>	1737

**XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**CUANTIFICACIÓN ESTIMATIVA DE IMPACTOS HIDRÁULICOS Y
ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN DRENAJE URBANO:
CONCORDIA (E.R.) Y SANTA FE**

A. Villanueva⁽¹⁾, E. Garat⁽²⁾, A. Spais⁽¹⁾ y G. Riccardi⁽³⁾

(1) Instituto Nacional del Agua (INA), (2) Universidad Tecnológica Nacional (UTN)

(3) Universidad Nacional de Rosario (UNR), Argentina.

email: aonvilla@gmail.com

RESUMEN:

La Tercera Comunicación para el Cambio Climático de la República Argentina (TCCCAR), indica que las precipitaciones extremas tienden a aumentar en los escenarios futuros. Ese incremento de la magnitud y frecuencia de las precipitaciones extremas aumentará las fallas de los sistemas de drenaje urbano (impactos hidráulicos), lo que implica mayores daños y costos de adaptación del sistema (impactos económicos). La caracterización de esos impactos es uno de los elementos básicos para el análisis de estrategias de adaptación.

A partir de las estimaciones presentadas en la TCCCAR se definió, de manera simplificada, un intervalo de variación de las curvas IDF para escenarios futuros. Ese espectro de variación del impacto del cambio climático fue utilizado para analizar cómo sería afectada la gravedad de las fallas del sistema de drenaje urbano y estimar el impacto económico de esas fallas en la cuenca del arroyo Manzores en Concordia y en la cuenca Cruz Roja del centro de Santa Fe.

En este trabajo se presentan valores estimativos de esos impactos, como forma de comenzar a establecer un marco general de análisis de medidas de adaptación a los impactos del cambio climático sobre el drenaje urbano.

PALABRAS CLAVES: cambio climático; drenaje urbano; impacto hidráulico; impacto económico

ABSTRACT:

The Third Communication on Climate Change of the Argentine Republic (TCCCAR) indicates that extreme rainfall tends to increase in future scenarios. This increase in the magnitude and frequency of extreme rainfall will increase the failures of urban drainage systems (hydraulic impacts), which implies greater damages and costs of system adaptation (economic impacts). The characterization of these impacts is one of the basic elements for the analysis of adaptation strategies.

Based on the estimates presented in the TCCCAR, a variation interval of the IDF curves for future scenarios was defined in a simplified manner. This spectrum of variation in the impact of climate change was used to analyze how urban drainage system failures would be affected and estimate the economic impact of these faults in the Manzores creek basin in Concordia and in the Santa Fe downtown Cruz Roja basin.

This paper presents an estimation of those impacts, as an attempt to begin to establish a general framework for analyzing adaptation measures to the impacts of climate change on urban drainage.

KEYWORDS: climate change; urban drainage; hydraulic impact; economic impact

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo informado en el AR5-IPCC (IPCC, 2014) y en la Tercera Comunicación para el Cambio Climático de la República Argentina (TCCCAR; CIMA, 2015), los resultados de los modelos GCM para diferentes escenarios indican que en casi toda la región húmeda de Argentina, que incluye las provincias de Misiones, Corrientes, Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires, las precipitaciones extremas tienden a aumentar en los escenarios futuros. Ese incremento de la magnitud y frecuencia de las precipitaciones extremas por causa del cambio climático afectará la severidad y la cantidad de fallas de los sistemas de drenaje urbano. La caracterización de los impactos sobre la frecuencia y gravedad de los eventos críticos es uno de los elementos básicos para el análisis de estrategias de adaptación frente al cambio climático.

El aumento de las precipitaciones según los escenarios de cambio climático aumenta la severidad y la frecuencia de las fallas del sistema (impactos hidráulicos), que implican mayores daños y costos de adaptación del sistema (impactos económicos).

Tomando como punto de partida las estimaciones máximas y mínimas presentadas en la TCCCAR se definió, de manera simplificada, un intervalo de variación de las curvas IDF de la ciudad de Concordia, E.R. (Garat, 2017) y de la ciudad de Santa Fe, S.F. para escenarios futuros.

Ese espectro de variación del impacto del cambio climático fue utilizado para analizar cómo sería afectada la gravedad de las fallas del sistema de drenaje urbano y estimar su impacto económico en la cuenca del arroyo Manzores en Concordia y en la cuenca Cruz Roja del centro de Santa Fe.

En este trabajo se presentan valores estimativos de esos impactos para las dos cuencas analizadas, como forma de comenzar a establecer un marco general de análisis de medidas de adaptación a los impactos del cambio climático sobre el drenaje urbano.

La estimación de los impactos forma parte de un trabajo más amplio, orientado al análisis de posibles medidas de adaptación ante el impacto climático. Una parte del mismo fue desarrollado sobre la cuenca del arroyo Manzores (Garat, 2017) y otra parte se encuentra actualmente en desarrollo en la ciudad de Santa Fe. Ese trabajo sigue los lineamientos presentados en (Hallegate, 2009) y se orienta a comenzar a explorar distintas alternativas de adaptación, incluyendo medidas estructurales, no-estructurales y combinaciones de ambos tipos de medidas. En relación a las medidas de adaptación, en este texto solo será brevemente comentado un caso, el sobredimensionamiento del sistema de drenaje, para establecer un valor económico de referencia, sin que eso implique una preferencia por esa alternativa.

Cabe mencionar que el efecto del cambio climático enfatiza la necesidad de ejecutar adecuadamente los trabajos de limpieza y mantenimiento de los sistemas de drenaje. Considerando que los sistemas muchas veces fallan para lluvias de proyecto o menores por inadecuada limpieza y mantenimiento, es claro que un incremento en la magnitud de las lluvias aumenta la importancia de esos trabajos.

CUENCAS ANALIZADAS

Las cuencas presentadas en este trabajo corresponden a dos escalas de trabajo marcadamente diferentes. Una de ellas, la cuenca del arroyo Manzores, en Concordia, E.R. (Figura 1) tiene un área del orden de 6 km² (~600 ha), y fue analizada a escala de macrodrenaje. La otra, la cuenca Cruz Roja en Santa Fe, Arg. (Figura 2), tiene un área de 0.25 km² (25 ha) y fue analizada a escala de microdrenaje.

Las metodologías de análisis del impacto tuvieron también algunas diferencias, por ejemplo el Manzores fue analizado a valores de 2013 y Cruz Roja fue analizada a valores de 2017. Por este motivo los indicadores hidráulicos y económicos de las cuencas no pueden compararse directamente, deben ser analizados para cada cuenca (e.g. daños de una cuenca vs. costos de esa cuenca) y de manera complementaria entre cuencas.

Según se ve en la Figura 1, el arroyo Manzores escurre en el sector oriental de la ciudad (Figura 1 a), con dirección de desagüe noroeste-sudeste. La zona de estudio seleccionada para

desarrollar el análisis corresponde al área de aportes del cauce principal del arroyo (Figura 1b). En términos de urbanización, la cuenca del arroyo Manzores es básicamente residencial, de poder adquisitivo medio a medio bajo, y la urbanización está todavía en proceso de desarrollo. Una característica destacable, y que afecta los impactos y particularmente los costos de medidas estructurales es que el curso principal del arroyo está abierto y en estado cuasi natural.

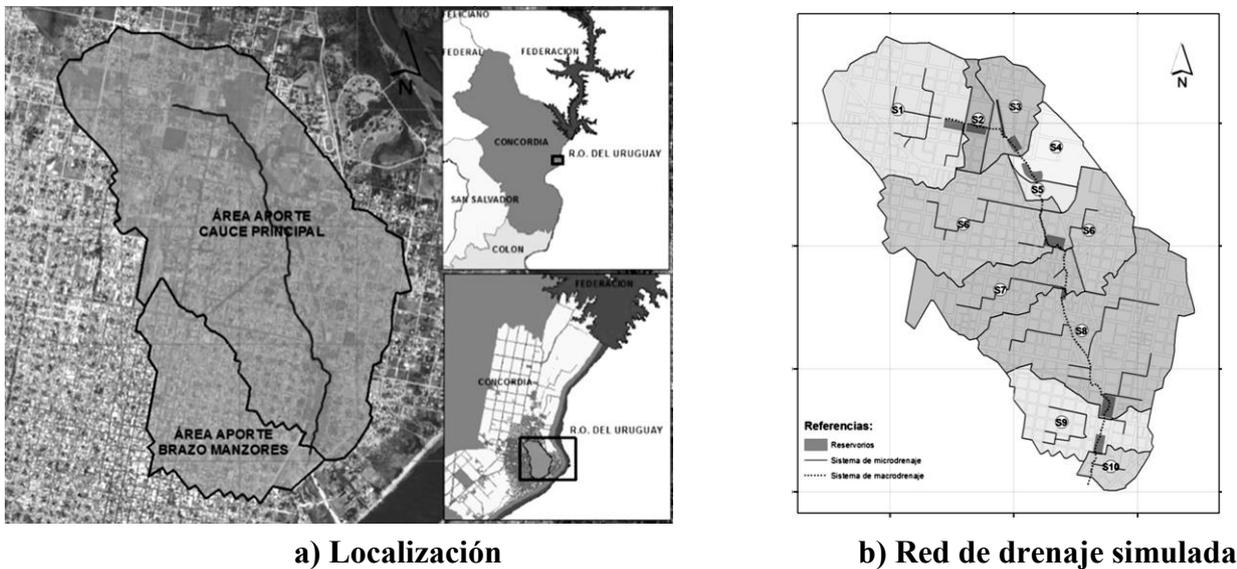


Figura 1.- Cuenca del arroyo Manzores, Concordia

La otra cuenca analizada es la denominada Cruz Roja, de 25 hectáreas en el centro comercial de la ciudad de Santa Fe (Figura 2), con una población aproximada de 18.000 habitantes. Limita al Norte con calle Salta, al Sur con calle Zaspé, al Oeste con calle 1^{ero} de Mayo y al Este con el Dique 1 (puerto de Sta. Fe). Corresponde íntegramente a una zona densamente poblada, donde hay problemas de anegamiento debido a la baja densidad de desagües y a la casi inexistencia de pendiente de la superficie del terreno. En términos de urbanización, está completamente saturada, con una ocupación mixta residencial-comercial, de nivel socioeconómico medio.

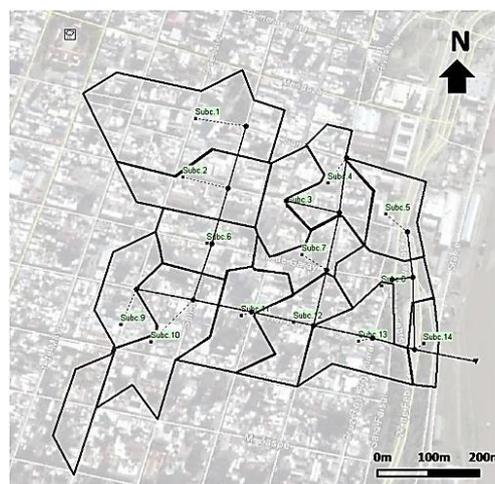


Figura 2.- Cuenca Cruz Roja, Santa Fe.

IMPACTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERADOS

El AR5-IPCC (IPCC, 2014) y la TCCCAR (CIMA, 2015) proporcionan valores indicativos de los potenciales impactos del cambio climático sobre las lluvias intensas.

A partir de los mismos se adoptaron incrementos de las precipitaciones extremas de 10%, 20% y 30%, para cubrir todo el rango sugerido por los estudios mencionados. Los escenarios de cambio climático fueron caracterizados de manera simplificada, afectando a la lámina total

precipitada por coeficientes entre 1,10 y 1,30, asumiendo que esa es la única afectación. La distribución intensidad-duración-recurrencia (curvas IDF) se mantiene, o sea que el impacto es el mismo para todas las intensidades y todas las recurrencias. El efecto general es, por ejemplo, que un sistema de microdrenaje, diseñado para tener una probabilidad de falla (PF) de 20 % (Tr=5) pasaría a tener una PF entre 29 % y 55 % (para impactos entre 10 % y 30%). En otras palabras, las fallas de los sistemas pasan a ser más frecuentes y más graves. Manteniendo fija la magnitud de falla, su frecuencia se incrementa; si se fija la frecuencia, el aumento de las láminas incrementa la gravedad de las fallas del sistema de drenaje (Villanueva y Garat, 2016).

En términos de las lluvias específicas de cada una de las cuencas analizadas las diferencias no son importantes, dado que están relativamente cerca (aproximadamente 250 km, en una región sin orografía relevante). La ciudad de Santa Fe no cuenta con curvas IDF, por lo que la municipalidad local adopta el uso de la de la ciudad de Paraná para cálculos hidrológicos. Las relaciones IDF utilizadas para las ciudades de Concordia y Santa Fe se indican en las Ecuaciones [1] y [2] respectivamente (Zamanillo et al, 2008). Las tormentas de proyecto fueron generadas mediante la metodología de Bloques Alternos (como ejemplo, la Tabla 1 presenta los hietogramas de diseño de ambas localidades para un período de retorno Tr=5 años)

$$i = 652,4 Tr^{0,26} / (d + 5)^{0,71} \quad [1]$$

$$i = 601 Tr^{0,23} / (d + 6)^{0,69} \quad [2]$$

Tabla 1.- Tormenta de Proyecto-Tr: 5 años (láminas precipitadas en mm)

Tiempo (min)	IDF Paraná (Santa Fe)	IDF Concordia
0	0.0	0.0
10	2.0	1.9
20	2.3	2.2
30	2.8	2.8
40	3.8	3.7
50	6.1	6.1
60	21.4	24.2
70	9.2	9.5
80	4.6	4.6
90	3.2	3.2
100	2.5	2.5
110	2.1	2.0
120	1.8	1.8
P total	61.9	64.3

METODOLOGÍA

A partir de los impactos sobre las precipitaciones, se cuantificaron los impactos hidráulicos simulando el escurrimiento en los conductos de la red de drenaje y en las calles del sistema superficial para las dos cuencas analizadas mediante el modelo hidrológico e hidrodinámico SWMM (EPA, 2015). Esas simulaciones permitieron estimar la cantidad de agua que inunda las calles por fallas del sistema de drenaje. En todas las simulaciones la condición inicial de la red de drenaje fue un caudal mínimo, que es lo habitual en drenaje urbano; como el SWMM permite colocar $Q=0$, ese fue el valor utilizado.

Una vez cuantificadas las condiciones de inundación, se estimó el impacto económico en función de las pérdidas directas por anegamiento. Para ello se utilizó la metodología FLEMOps (+) (“FloodLossEstimationMOdelfortheprivate sector”), Tieken et al. 2007, Thielen A. H., 2008. Este modelo estima las pérdidas directas adimensionales como un porcentaje del valor de la edificación (Figura 3), en función del nivel de agua (cinco categorías), tipo de construcción (tres clases: unifamiliar, vivienda adosada y multifamiliar) y calidad de la edificación (media/baja y alta). En

cada escenario de cambio climático se cuantificaron los daños por inundación de las redes de micro y macrodrenaje aplicando el Modelo FLEMOps(+).

Para cada estrategia, se estimó el valor esperado de los daños anuales (VEDA), que estadísticamente es el valor medio de la variable aleatoria continua x (daño anual por inundación), cuya función densidad de probabilidad es $f(x)$ corresponde a la esperanza matemática $E(x)$, indicada en la Ecuación [3]. El daño en un año cualquiera del período analizado puede interpretarse como la integral sobre todo el rango de probabilidades.

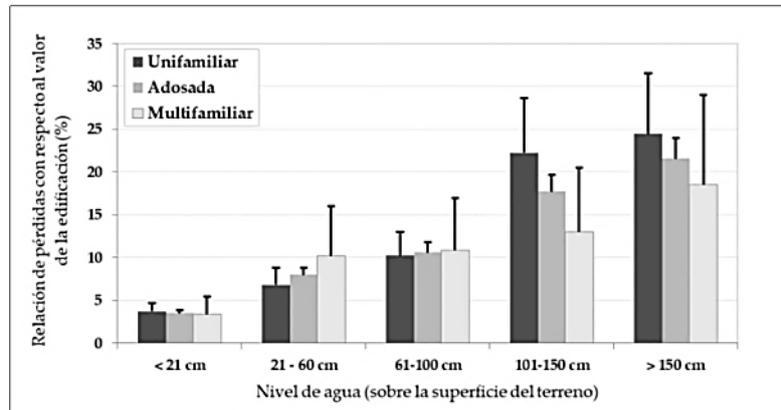


Figura 3.- Modelo de microescala FLEMOps

$$E(x) = \int x f(x) dx \quad [3]$$

De las diversas metodologías propuestas para desarrollar la solución de esta integral (Olsen et al., 2015), se adoptó la integración numérica por el método trapezoidal, Ecuación [4].

$$VEDA = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{Tr_i} - \frac{1}{Tr_{i+1}} \right) (D_i + D_{i+1}) \quad [4]$$

Siendo:

VEDA: valor esperado de los daños (\$/año)

N: número de eventos

Tr_i y Tr_{i+1} : períodos de retorno analizados (años).

D_i y D_{i+1} : daños provocados por la inundación en los eventos analizados (\$).

El VEDA fue estimado a partir de tres tiempos de retorno en el caso del arroyo Manzores (5, 25 y 50 años) y a partir de cuatro tiempos de retorno (2, 5, 25 y 50 años) para la cuenca Cruz Roja.

Para actualizar la serie escalonada de daños anuales (VEDA) al año base de la serie se utilizó la fórmula del valor presente de anualidades diferidas, determinando el Valor Presente de los daños de la etapa i (VPD en \$). La Figura 4 muestra un ejemplo de la serie de VEDA y el VPD resultante.

Para ello se aplicó el Factor de Actualización de una Serie uniforme (FAS), a una tasa de descuento r según la Ecuación [5], siendo $na=30$ años el período de actualización de la serie. Se adoptó una tasa de descuento $r=4\%$, ubicada en el rango acordado en las reuniones de coordinación de la CEPAL, validadas por los integrantes de equipos nacionales y paneles de asesores sobre cambio climático en reuniones celebradas en Santiago de Chile durante 2009 (CEPAL, 2014). Los daños VPD obtenidos a partir de la Ecuación [5] constituyen pérdidas concentradas en el año base del flujo de fondos, de magnitud equivalente a la serie distribuida.

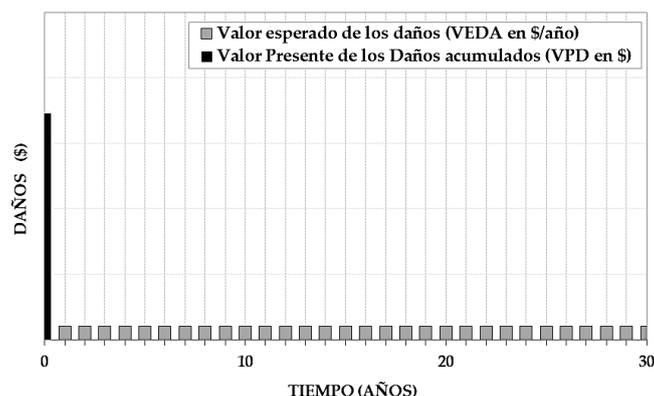


Figura 4.- Valor esperado de los daños.

$$VPD = VEDA \left[\frac{(1 + r)^{na} - 1}{r(1 + r)^{na}} \right] \quad [5]$$

Los costos de posibles medidas para evitar o mitigar los impactos fueron estimados por los métodos standard de cálculo y costeo. Los daños y costos fueron después combinados en indicadores como Relación Beneficio-Costo (B/C), Valor Presente Neto (VPN), y Valor Esperado de Daño Anual (VEDA) (Garat, 2017). Aquí solo son presentados valores de daños y costos, para un horizonte de 30 años, para simplificar y facilitar el análisis sobre una base común.

RESULTADOS

ARROYO MANZORES, CONCORDIA (E. R., ARGENTINA)

El trabajo desarrollado sobre la cuenca del arroyo Manzores tuvo por objetivo comenzar a explorar cuantitativamente el impacto del cambio climático sobre el drenaje urbano y analizar algunas posibles estrategias de adaptación. El arroyo Manzores es afectado por los niveles del río Uruguay, que puede cambiar significativamente las condiciones de escurrimiento; a los efectos de simplificar el estudio se adoptó como condición del río Uruguay aguas medias.

Impactos hidráulicos

En la Tabla 2 se presenta el grado de inundación en las calles y el incremento del caudal pico en el arroyo. En el caso de las calles, para el Tr de proyecto de 5 años no habría agua en las calles. Los resultados de las simulaciones indican que el impacto del cambio climático generaría inundaciones, que serían más extensas y con mayor tirante cuanto mayor sea el impacto del cambio climático.

En el curso de agua principal el aumento del caudal de pico es más evidente, ya que representa el efecto agregado sobre toda la cuenca. Los incrementos estimados del caudal máximo en el arroyo Manzores varían entre 18% y 48%.

Tabla 2.- Algunos indicadores de impacto hidráulico (valores medios) - Tr 5 años - Concordia

Escenario	Inundación calles	Mediana tirantes	Qmáx Manzores
1,10 PE	2 %	7 cm	+ 18 %
1,20 PE	17 %	15 cm	+32%
1,30 PE	35 %	20 cm	+48 %

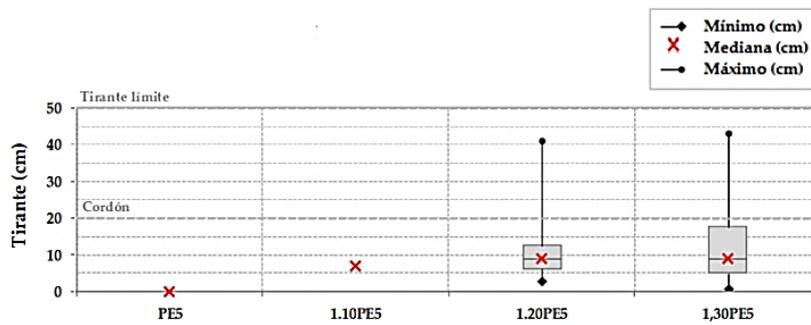


Figura 5.- Tirante de agua en las calles(Tr 5 años), para IDF actual e impacto de cambio climático.

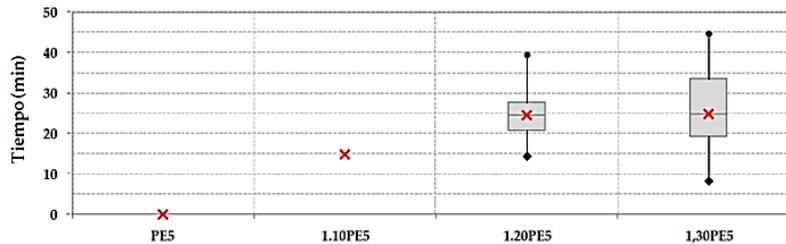


Figura 6.- Tiempo de anegamiento de las calles (Tr 5 años), para IDF actual e impacto de cambio climático.

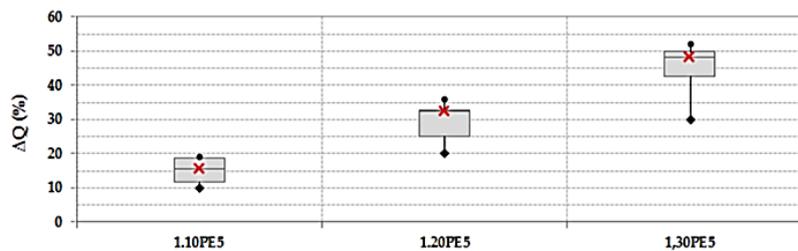


Figura 7.- Incremento de caudal pico en el arroyo Manzores, para los escenarios de cambio climático.

Impactos económicos

La Tabla 3 indica el valor de las pérdidas directas por inundación estimadas mediante el modelo FLEMOps(+) para un horizonte de 30 años.

En la primera fila de la tabla se presentan los daños estimados para la línea de base estacionaria, es decir las pérdidas generadas por tormentas en el escenario climático estacionario, que aún en las condiciones actuales genera daños directos a las edificaciones para eventos de 25 y 50 años de tiempo de retorno.

Se observa que a medida que se incrementa la magnitud de la precipitación máxima, el daño anual equivalente (columna 2) y el valor presente de los daños (columna 3) se incrementan. Las diferencias con respecto a la línea base estacionaria se resumen en las columnas 4 y 5, donde se puede ver que los daños se incrementan entre 50% y 200% en relación a los correspondientes a la precipitación estacionaria.

Tabla 3.- Valor Esperado del Daño Anual, acumulado 30 años - Concordia, Entre Ríos.

IDF	VEDA (\$/año)	VPD (\$)	Incremento daños	
			(\$)	(%)
PE (Línea base)	3.724.118	64.397.568	-	-
1,10 PE	5.464.719	94.496.110	30.098.542	47
1,20 PE	8.322.042	143.905.033	79.507.465	123
1,30 PE	11.385.999	196.887.082	132.489.514	206

Una de las posibles estrategias de adaptación al cambio climático (Hallegate, 2009) consiste en el sobredimensionamiento (E_S) de la infraestructura (estrategia del tipo "margen de seguridad"), proyectada a partir de las precipitaciones máximas previstas para el fin de su vida útil, con una carga financiera asumida en el presente.

Esa estrategia implica redimensionar la red para los tres escenarios de cambio climático. En el caso de la cuenca del Arroyo Manzores, el redimensionamiento incluyó los colectores de drenaje, el cauce principal del macrodrenaje y las obras de descarga de los reservorios.

En la Tabla 4 se indica el costo adicional que tendría dimensionar el sistema para el incremento esperado de precipitación en cada escenario de cambio climático. Puede observarse que esta estrategia de adaptación implica un incremento del costo de construcción comprendido entre el 4% y el 14% del costo de la red proyectada según las IDF actuales, estimado en \$ \$96.771.446. En este caso sería posible reducir la vulnerabilidad del sistema con costos comparativamente bajos. Cabe destacar que el curso principal de macrodrenaje (arroyo Manzores) es abierto; esta condición influye significativamente sobre la ecuación económica, ya que si estuviera entubado los costos aumentarían considerablemente.

Tabla 4.- Costo de sobredimensionamiento - Concordia

IDF	Costo de sobredimensionamiento	
	(\$)	(%) costo PE
1,10 PE	4.050.228	+4%
1,20 PE	8.002.426	+8%
1,30 PE	13.430.769	+14%

El sobredimensionamiento de la red de drenaje genera una reducción de las pérdidas directas por inundación, cuya magnitud se resume en la Tabla 5, donde se puede ver que el Valor Presente de los Daños se reduce entre un 35% y un 65% de los daños correspondientes al proyecto ejecutado considerando precipitación estacionaria (proyecto PE).

Un análisis expeditivo de los resultados presentados en las tablas anteriores confirma un desempeño económico favorable de la estrategia de sobredimensionamiento en este caso. Puede observarse que la reducción de daños (Tabla 5, columna 4) supera ampliamente el incremento de costos de construcción en los respectivos escenarios de cambio climático (Tabla 4, columna 3).

Tabla 5.- Reducción del Valor esperado de los daños por implementación de la estrategia de sobredimensionamiento.

IDF proyecto	Valor Presente Daños (VPD en \$)		Reducción daños	
	Daño proyecto CC*PE	Daño proyecto PE	(\$)	(%)
1,10 PE	61.052.799	94.496.110	33.443.311	35
1,20 PE	73.708.519	143.905.033	70.196.514	49
1,30 PE	69.063.797	196.887.082	127.823.285	65

Una cuestión que debe ser considerada es que si bien hay un intervalo previsto para el impacto del cambio, no es posible saber qué valor va a tener ese impacto y como va a ser su evolución temporal. En términos prácticos, habrá un impacto previsto (IP) al momento de hacer los estudios y proyectos, y un impacto real (IR), que pueden o no coincidir. De hecho, el impacto real puede estar fuera del intervalo originalmente previsto, por arriba o por abajo.

En la figura 8 se presenta un ejemplo de las posibles combinaciones a considerar para el caso de E_S . El primer subíndice identifica el impacto previsto, y el segundo el impacto real. Como ejemplo E_{s2-1} : el primer subíndice (2) significa que la red fue dimensionada para impacto previsto

del 20% (1,20PE) mientras que el segundo subíndice (1) identifica el impacto real del 10% (1,10PE).

Las celdas ubicadas en la diagonal principal representan los escenarios de cambio climático para los cuales fueron proyectadas las redes respectivas (impacto previsto = impacto real). En las celdas sobre la diagonal principal se ubican las redes sobredimensionadas (impacto previsto > impacto real) y en las celdas bajo la diagonal principal se encuentran las redes subdimensionadas (impacto previsto < impacto real).

IMPACTO REAL (IR)	IMPACTO PREVISTO (IP)		
	E _S -1	E _S -2	E _S -3
1	E _S -1-1	E _S -2-1	E _S -3-1
2	E _S -1-2	E _S -2-2	E _S -3-2
3	E _S -1-3	E _S -2-3	E _S -3-3

	Sobredimensionamiento	IR < IP
	Dimensionamiento	IR = IP
	Subdimensionamiento	IR > IP

Figura 8.-Combinatoria de impactos de cambio climático, previstos en el proyecto y realmente acontecidos.

Como se ve, al considerar 3 escenarios posibles de cambio climático "automáticamente" se generan 9 situaciones alternativas, para cada condición a analizar. O sea, si se desea comparar 3 estrategias diferentes ya se tienen 27 combinaciones. Utilizar varios horizontes de proyectos agrega otro multiplicador, y así por delante. Por consiguiente, es conveniente analizar cuidadosamente las alternativas a evaluar, para acotar las dimensiones del problema

CUENCA CRUZ ROJA, SANTA FE (S.F., ARGENTINA)

El trabajo en la cuenca Cruz Roja está en desarrollo, y busca ampliar la gama de situaciones que comenzaron a ser analizadas en el trabajo de Garat, 2017. En este caso se ha trabajado solo con el impacto 1.20PE.

Impactos hidráulicos

En la cuenca Cruz Roja el principal impacto hidráulico ocurre por inundación de una de las esquinas del centro comercial de la ciudad. Como es esperable a medida que el impacto del cambio climático aumenta el problema se agrava, como se puede ver en la Tabla 7. Un factor adicional que empeora las cosas es que al ser una zona comercial central hay un tránsito intenso de vehículos, particulares, comerciales y de transporte urbano. El tránsito genera oleaje, haciendo más críticas las consecuencias del anegamiento.

Tabla 6.- Algunos indicadores de impacto hidráulico - Santa Fe (impacto localizado en Salta y 9 de Julio)

Recurrencia [años]	Volumen [m ³]	Tirante [m]	Área afectada [m ²]	Conductos bajo carga [%]
2	---	---	---	---
2+10%	---	---	---	11.00
2+20%	---	---	---	15.00
2+30%	---	---	---	23.00
5	---	---	---	15.00

5+10%	---	---	---	15.00
5+20%	299.00	0.18	3800.00	31.00
5+30%	573.00	0.24	6000.00	46.00
25	870.00	0.29	7600.00	54.00
25+10%	1183.00	0.32	8200.00	88.00
25+20%	1526.00	0.36	9200.00	96.00
25+30%	1897.00	0.40	10200.00	96.00
50	1430.00	0.35	9000.00	96.00
50+10%	1858.00	0.40	10200.00	96.00
50+20%	2308.00	0.44	11.000.00	96.00
50+30%	2739.00	0.48	12000.00	96.00

Impactos económicos

Los resultados presentados a continuación corresponden al dimensionamiento de la red pluvial de la cuenca para dos situaciones: i) Dimensionamiento de la red para recurrencia de dos años P actual (PE); y ii) Dimensionamiento de la red pluvial para recurrencia de 2 años aumentada en intensidad en un 20% por efecto del cambio climático (1.20PE).

Para cada caso, se realizó una estimación del valor presente de los daños, considerando las dos condiciones de proyecto, PE y 1.20PE, sometidas a la lluvia 1.20PE. La reducción de daños es presentada en la Tabla 8, siendo que la reducción por el sobredimensionamiento es de 5.700.000, y la de VEDA es de 330.000, lo que significa un 34 % menos que el daño que ocurriría si se dimensionara considerando la lluvia estacionaria. A los efectos de comparación, el costo de proyecto para PE sería de \$ 9.525.782 y sobredimensionar para un impacto de 20 % costaría unos \$ 11.000.000 más, \$ 20.627.476.

Tabla 8.- VEDA y valor presente de daños en la cuenca Cruz Roja para dos condiciones de proyecto

IDF proyecto	VEDA (\$)	Valor Presente Daños (VPD en \$)
PE	956.564	16.540.936
1,20 PE	627.158	10.844.837

CONCLUSIONES

Los ejes de acción propuestos por la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), recomiendan la generación y difusión de información necesaria para la planificación y toma de decisiones, incluyendo el desarrollo de escenarios de los efectos del cambio climático a escala regional y local, tanto en materia de adaptación como de mitigación. (Ludeña, Wilk & Quiroga 2012, p. 12). Se presentan en este trabajo valores estimativos de los impactos para dos cuencas urbanas ubicadas en la región húmeda de la República Argentina (cuenca del Arroyo Manzores en Concordia (E. Ríos) y cuenca Cruz Roja en Santa Fe, (S. Fe).

En el caso de la ciudad de Concordia, los impactos previstos para la recurrencia analizada en este trabajo (Tr: 5 años) consisten en el anegamiento de calles (entre 2% y 35% de la longitud de la red) y el incremento del tirante de agua en las calles. Otro impacto asociado es el incremento del caudal máximo del macrodrenaje en porcentajes variables entre 18% y 48%. Para los incrementos de precipitación máxima analizados, las pérdidas directas por inundación aumentan entre 50% y 200% en relación a las que ocurrirían si no hubiera impacto del cambio climático.

Para la cuenca del arroyo Manzores, en este trabajo se comenta brevemente el efecto de una estrategia de adaptación de tipo estructural, denominada estrategia de sobredimensionamiento, cuyo

costo de construcción varía entre 4% y el 14% del costo de la red proyectada según las relaciones IDF actuales. Considerando el conjunto de combinaciones posibles entre impacto previsto e impacto real, con esa estrategia la reducción de daños supera ampliamente el incremento de costos de construcción en los respectivos escenarios de cambio climático.

Para el caso de la cuenca Cruz Roja, los impactos generados recién comienzan a ser evidentes para recurrencias de 5 años o mayores, con aumentos de tirantes de agua en calle. Para recurrencias menores el impacto aparece en las condiciones de trabajo del sistema pluvial, con la entrada en carga de diversos conductos.

La diferencia en valor económico entre la construcción del sobredimensionamiento del sistema pluvial para la lluvia que prevé la incorporación del cambio climático (Tr:2+20%) y la de la IDF actual (Tr:2 años) fue de \$11.000.000 aproximadamente. Analizando los resultados de daños para estas dos situaciones, se esperaría una reducción de los mismos de entre un 29% y un 35% si se sobredimensionara el sistema de drenaje. En este caso la ecuación económica de una estrategia de sobredimensionamiento no resulta tan claramente favorable como en el caso del arroyo Manzores.

La diferencia entre los impactos en las dos cuencas, para el mismo impacto en la lluvia, resulta de la diferencia en las características físicas de las cuencas (tamaño y topografía, principalmente). Esas diferencias también influyen en el resultado de la estrategia de adaptación comentada.

El impacto de esas diferencias hace evidente la dificultad de extrapolar resultados y la necesidad de contar con estudios que abarquen un conjunto representativo de las situaciones posibles, lo que incluye no solo diferencias físicas sino también los diferentes impactos previstos para diferentes regiones.

REFERENCIAS

CEPAL (2014), *“La economía del cambio climático en la Argentina. Primera aproximación”*, Naciones Unidas, Santiago de Chile.

CIMA(2015). "Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones" TCNCCAR, Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*, Buenos Aires, Argentina.

EPA (2015), “Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1” *United States Environmental Protection Agency*. Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division. Cincinnati, OH. USA.

Garat, E. (2017). “Incorporación de la incerteza del cambio climático en la gestión del drenaje urbano”. Tesis de doctorado, *FCEIA, UNR*, Rosario, Argentina. <http://ria.utn.edu.ar/handle/123456789/2154>

Hallegatte, S. (2009), “Strategies to adapt to an uncertain climate change” *Global Environmental Change* 19.

IPCC (2014), "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". *Cambridge University Press*, Cambridge, U.K. New York, USA.

Ludeña, C., Wilk, D. & Quiroga, R. (2012), “ARGENTINA: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático - Marco de la preparación de la Estrategia 2012-2016 del BID en Argentina”. *Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. Departamento de Países del Cono Sur (CSC). Nota Técnica No. IDB-TN-621*.

Olsen, A.S., Zhou, Q., Linde, J.J. & Arnbjerg-Nielsen, K. (2015), “Comparing Methods of Calculating Expected Annual Damage in Urban Pluvial Flood Risk Assessments” *Water*, vol 7, no.1, pp. 255-270. DOI: 10.3390/w7010255

Thiessen, A.H. et al., (2007). "Flood losses in private households: analysis of influencing factors and implications for flood loss modelling". Bochum, Germany: *International Association of Hydrological Sciences IAHS*, Publ. 317

Thiessen, A. H.(2008), “Floods, flood losses and flood risk management in Germany”, Ph.D. Thesis, *University of Potsdam*, Potsdam, Alemania.

Villanueva, A. & Garat, E.(2016). “Efecto del Cambio Climático sobre la Severidad y Frecuencia de Lluvias Extremas y el Drenaje Urbano”. *V Taller Sobre Diseño Hidrológico*, Salta, Argentina, 2016.

Zamanillo, E., Larenze, G., Tito, M.J. &Perez, M. (2008),“Tormentas de diseño para la Provincia de Entre Ríos”. *Universidad Tecnológica Nacional, Concordia, Argentina*.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica Nacional y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, financiadoras del Programa de Becas: “Formación de Doctores en Áreas Tecnológicas Prioritarias”, en cuyo marco se desarrolló el Doctorado en Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario de la Ing. M.E. Garat.

A la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación con cuyo financiamiento se está desarrollando el proyecto " Incorporación del impacto del cambio climático en la gestión del drenaje urbano", del cual hace parte el estudio de la cuenca Cruz Roja.