

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE OBRAS HIDRAULICAS Y SANITARIAS



**“DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN LA
MICROCUEENCA TACPA ÁGUILA AFLUENTE DEL RÍO EL MOLINO
MUNICIPIO DE EL PUENTE DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

Por:

ALMAZAN CANO ROBERTO
CALDERON HIVER

SEMESTRE I - 2022
TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA:

Este trabajo es dedicado en especial a Dios por ser la esencia en nuestras vidas, por habernos guiado en cada una de nuestras decisiones tomadas y darnos las fuerzas para no rendirnos.

A nuestros padres, por todo el amor, apoyo y entrega incondicional, por guiar nuestros caminos de estudio, por estar siempre presentes en el momento indicado siendo ejemplo de lucha y constancia en nuestras vidas.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA.....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1 EL PROBLEMA.....	4
1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.3.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	5
1.4.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	6
1.4.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	7
1.5 OBJETIVOS.....	7
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.6 HIPÓTESIS.....	8
1.7 METODOLOGÍA.....	8

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN.....	10
2.2 MARCO ESPACIAL.....	10
2.2.1 LOCALIZACIÓN DE LA MICROCUENCA Y PUNTOS DE ENSAYO.....	10
2.3 MARCO TEMPORAL.....	14
2.4 MARCO CONCEPTUAL.....	14
2.4.1 CUENCA HIDROGRÁFICA.....	14
2.4.2 PRECIPITACIÓN.....	15
2.4.3 CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIÓN.....	15
a. PRECIPITACIÓN DE CONVECCIÓN.....	15
b. PRECIPITACIÓN OROGRÁFICA.....	15
c. PRECIPITACIÓN CICLÓNICA.....	16
2.4.4 MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	16
2.4.5 ESCURRIMIENTO.....	18
2.4.6 TIPOS DE ESCURRIMIENTO.....	18
a. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.....	18
b. ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL.....	18

c. ESCURRIMIENTO SUBTERRANEO	18
2.4.7 MEDICIÓN DE ESCURRIMIENTOS.....	18
2.4.8 TEXTURA DE SUELOS	19
a. SUELO FRANCO ARENOSO.....	19
b. SUELO ARENOSO	19
c. SUELO GRANULAR	19
2.5 METODO DEL NÚMERO DE CURVA.....	19
2.5.1 LAS VARIABLES DEL NÚMERO DE CURVA	20
2.5.2 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS	21
2.5.3 USO Y TRATAMIENTO DEL SUELO	22
a. ÁREAS CULTIVADAS.....	23
b. PASTIZALES	24
c. BOSQUES Y SUPERFICIES FORESTALES	24
d. ÁREAS URBANAS.....	26
2.5.4 CONDICIÓN HIDROLÓGICA	27
a. CONDICIÓN HIDROLÓGICA PARA LAS ÁREAS CULTIVADAS.....	27
b. CONDICIÓN HIDROLÓGICA PARA LOS PASTIZALES	28
c. CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE BOSQUES Y SUPERFICIES FORESTALES	29
2.5.5 ESTADO DE HUMEDAD ANTECEDENTE	29
2.6 VALORES DEL NÚMERO DE CURVA.....	30
2.7 INFILTRACIÓN	34
2.7.1 TASA DE INFILTRACIÓN.....	35
2.7.2 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.....	35
2.7.3 FACTORES QUE AFECTAN LA INFILTRACIÓN.....	35
2.7.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN.....	36
a. INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO	37
b. PERMEÁMETRO DE GUELPH	42
3.8 PROGRAMA INFORMÁTICO UTILIZADO.....	43
3.8.1 ARCGIS	43

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1 INTRODUCCIÓN	45
3.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA A TRAVÉS DEL SIMULADOR DE LLUVIA.....	45
3.2.1 MODELO METEOROLÓGICO	46
a. PRECIPITACIONES MÁXIMAS.....	46

b. SELECCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO.....	46
c. SELECCIÓN DE LA DURACIÓN DE LA TORMENTA DE SIMULACIÓN	46
d. ESTIMACIÓN DE LOS VALORES DE LA TORMENTA DE SIMULACIÓN	47
3.2.2 SIMULADOR DE LLUVIA	48
a. ESTRUCTURA METÁLICA.....	48
b. CANAL RECOLECTOR Y TANQUE DE AFORO	49
d. FUNCIONAMIENTO DEL SIMULADOR DE LLUVIA	51
3.2.3 USO DEL SUELO DENTRO DE LA MICROCUENCA	52
a. CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN	53
3.2.4 PARCELAS DEMOSTRATIVAS	55
3.2.5 METODOLOGÍA DEL ENSAYO	60
3.2.6 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA (NC)	60
a. DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA (Q)	61
b. CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE.....	62
3.3 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS	63
3.3.1 ENSAYOS DE INFILTRACIÓN.....	63
a. ENSAYO DEL INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO.....	66
b. ENSAYO DEL PERMEÁMETRO DE GUELPH.....	72
3.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA A TRAVÉS DE ArcGis	76
3.4.1 DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN HIDROLÓGICA Y EL GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO.....	76
3.4.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA	80
CAPÍTULO IV: CÁLCULOS Y RESULTADOS	
4.1 INTRODUCCIÓN	84
4.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA A TRAVÉS DEL SIMULADOR DE LLUVIA.....	84
4.2.1 ESTIMACIÓN DE LOS VALORES DE LA TORMENTA DE SIMULACIÓN	84
4.2.1 SIMULADOR DE LLUVIA	90
4.2.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA (NC)	92
4.2.3 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA PROMEDIO PARA LAS COBERTURAS ESTUDIADAS.....	106
4.3 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS	107
4.3.1 ENSAYO DEL INFILTOMETRO DE DOBLE ANILLO	107
4.3.2 ENSAYO DEL PERMEAMETRO DE GUELPH.....	109
4.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA A TRAVÉS DE ArcGis	111

4.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA MEDIANTE EL USO DE.....	113
TABLAS Y COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA	113
INVESTIGACION.....	113
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 CONCLUSIONES	114
5.2 RECOMENDACIONES	119
CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA	
6.1 BIBLIOGRAFÍA.....	120
6.2 WEBGRAFÍA	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de la microcuenca dentro del departamento de Tarija	3
Figura 2.1 Ubicación de puntos de ensayos de infiltracion	15
Figura 2.2 Ubicación de parcelas demostrativas	15
Figura 2.3 Precipitación de convección.....	15
Figura 2.4 Precipitación orográfica	16
Figura 2.5 Precipitación ciclónica	16
Figura 2.6 Cálculo de la escorrentía en función de la precipitación y el número de curva CN.....	20
Figura 2.7 Infiltrómetro de doble anillo en funcionamiento.	38
Figura 2.8 Curvas de infiltración.....	39
Figura 2.9 Infiltrómetro doble anillo	40
Figura 2.10 Infiltrómetro doble anillo	40
Figura 2.11 Infiltrómetro doble anillo	40
Figura 2.12 Flujo de agua en el suelo generado por el doble anillo.....	41
Figura 2.13 Establecimiento de la cabeza constante en el pozo.....	43
Figura 3.1 Simulador de lluvia tipo pulverizador	48
Figura 3.2 Canal recolector	49
Figura 3.3 Tanque aforador.....	49
Figura 3.4 Motobomba.....	50
Figura 3.5 Aspensor tipo Spray-cone.....	50
Figura 3.6 Manómetro.....	51
Figura 3.7 Vegetación dentro la microcuenca	53
Figura 3.8 Clases de coberturas en la microcuenca	54
Figura 3.9 Parcelas demostrativas in situ dentro de la microcuenca.....	55
Figura 3.10 Delimitación y acondicionamiento una de las parcelas demostrativas	56
Figura 3.11 Cobertura de pasto	57
Figura 3.12 Cobertura de paja	57
Figura 3.13 Cobertura pasto-paja	58
Figura 3.14 Cobertura tolilla	58
Figura 3.15 Cobertura de chilca	59
Figura 3.16 Cobertura de malva parvífora.....	59
Figura 3.17 Ubicación de puntos para ensayos de infiltración	64
Figura 3.19 Infiltrómetro de doble anillo en la parte baja de la microcuenca	66
Figura 3.20 Colocación de los anillos y centrado del anillo interior.....	68

Figura 3.21 Clavado de los anillos en el suelo	69
Figura 3.22 Llenado de agua en ambos anillos.....	69
Figura 3.23 Nivel de agua igual en ambos anillos	70
Figura 3.24 Instalación del permeámetro de Guelph en la parte alta de la cuenca.....	72
Figura 3.25 Perforación del orificio para la práctica	73
Figura 3.26 Llenado del depósito de agua del equipo	74
Figura 3.27 Se introduce el cilindro de menor diámetro al orificio	74
Figura 3.28 Permeámetro de Guelph en funcionamiento	75
Figura 3.29 Algoritmo para la obtención del grupo hidrológico del suelo.....	76
Figura 3.30 Mapa de condición hidrológica en los puntos de ensayo.....	77
Figura 3.31 Mapa de Interpolación con el comando “INTERPOLATE IDW”	78
Figura 3.32 Mapa de clasificación del grupo hidrológico de los suelos	79
Figura 3.33 Mapa de vegetación de la cuenca	80
Figura 3.34 Conversión de mapas temáticos	81
Figura 3.35 Reclasificación.....	81
Figura 3.36 Número de curva parcial	82
Figura 3.37 Número de Curva promedio.....	83
Figura 4.1 Condición y grupo hidrológico del suelo	111
Figura 4.2 Número de Curva parcial para la Microcuenca Tacpa Águila.....	112
Figura 4.3 Número de Curva parcial para la Microcuenca Tacpa Águila.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Coordenadas de puntos de ensayo para pruebas de infiltración	11
Tabla 2.2	Coordenadas de puntos de ensayo de parcelas demostrativas	14
Tabla 2.3	Clasificación hidrológica del suelo	21
Tabla 2.4	Condición hidrológica del pasto en función de la carga ganadera	28
Tabla 2.5	Condición hidrológica para los matorrales con algo de herbáceas	28
Tabla 2.6	Condición hidrológica de pequeñas arboledas	29
Tabla 2.7	Números de curva para los cultivos agrícolas	30
Tabla 2.8	Números de curva para pastizales y arboledas	32
Tabla 2.9	Tabla para la determinación del número de curva en zonas áridas y semiáridas	33
Tabla 2.10	Tabla para la determinación del número de curva en tierra agrícola, sub urbana y urbana	34
Tabla 2.11	Velocidad final de infiltración	35
Tabla 3.3	Ejemplo de ensayo a campo	71
Tabla 4.1	Conversión de la precipitación en 24h a duración en minutos	85
Tabla 4.2	Intensidades en mm/h	86
Tabla 4.3	Intensidades transpuestas en mm/h	88
Tabla 4.4	Valores para la curva IDF y Hietograma en mm/h	89
Tabla 4.5	Cálculos precipitación escorrentía Pasto-Paja	91
Tabla 4.6	Escorrentía Q de cada ensayo Pasto – Paja	95
Tabla 4.7	P,Q y E de cada ensayo Pasto – Paja	96
Tabla 4.8	Cálculo de CN: Paja. Condición hidrológica buena	97
Tabla 4.9	Cálculo de CN: Malva. Condición hidrológica buena	99
Tabla 4.10	Cálculo de CN: Pasto. Condición hidrológica regular	101
Tabla 4.11	Cálculo de CN: Chilca. Condición hidrológica buena	102
Tabla 4.12	Cálculo de CN: Chilca. Condición hidrológica buena	104
Tabla 4.13	Numero de curva promedio para las coberturas estudiadas	107
Tabla 4.14	Ensayo del doble anillo punto D.A. 1	107
Tabla 4.15	Resultados de pruebas de infiltración con el Doble Anillo	109
Tabla 4.16	Planilla de campo pruebas del Permeámetro de Guelph	109
Tabla 4.17	Clasificación de la condición hidrológica del suelo	110
Tabla 4.18	Cuadro comparativo de la determinación del número de curva según Tabla 2.8	113
Tabla 4.19	Cuadro comparativo de la determinación del número de curva según Tabla 2.9	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1 Curva IDF para la microcuenca Tacpa Águila	90
Gráfico N°2 Hietograma estación Campanario.....	90
Gráfico N°3 Datos de Precipitación - Escorrentía Pasto-Paja	93
Gráfico N°4 Línea de tendencia de datos Precipitación - Escorrentía: Pasto-paja	93
Gráfico N°5 Curva P –E y P–Q: Pasto-Paja, CN-II = 78	95
Gráfico N°6 Curva P –E y P–Q: Pasto-Paja, CN-II = 75	97
Gráfico N°7 Curva ajustada P –E y P–Q: Paja, CN-II = 82	99
Gráfico N°8 Curva ajustada P –E y P–Q: Malva, CN-II = 75	100
Gráfico N°9 Curva ajustada P –E y P–Q: Pasto, CN-II = 82	102
Gráfico N°10 Curva ajustada P –E y P–Q: Chilca, CN-II = 82.....	104
Gráfico N°11 Curva ajustada P –E y P–Q: Tolilla, CN-II = 75	106
Gráfico N°12 Curva de infiltración.....	108