



BUAP

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Colegio de Ingeniería Civil

Diseño del sistema de abastecimiento para riego en Benito Juárez,
Los Reyes de Juárez, Puebla

TESIS

Que para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería civil

Presentan:

Vera Chávez Marisela Mat: 201509127

Asesor de Tesis:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

M. en I. Samanta Alejandra Sangabriel Alvarado

AGOSTO 2022



BUAP

Oficio No. SAC/1973/2021

**C. VERA CHÁVEZ MARISELA
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
CIVIL
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional en línea, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO PARA RIEGO EN BENITO JUÁREZ, LOS REYES DE JUÁREZ, PUEBLA”.

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como asesor interno de tema a la Mtra. Samantha Alejandra Sangabriel Alvarado.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z. a 17 de noviembre de 2021

**M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director**



**M'ACGZ /barv
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo**

Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

Oficio No. SAC/1973/2021

C. VERA CHÁVEZ MARISELA
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
CIVIL
P r e s e n t e.

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional en línea, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO PARA RIEGO EN BENITO JUÁREZ, LOS REYES DE JUÁREZ, PUEBLA”.

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como asesor interno de tema a la Mtra. Samantha Alejandra Sangabriel Alvarado.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

A t e n t a m e n t e
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 17 de noviembre de 2021



M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director

M'ACGZ /barv
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

Contenido

Planteamiento del problema	1
Justificación	1
Objetivos de la investigación	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Marco teórico.....	3
Antecedentes históricos del agua en México.....	3
Obras hidráulicas en la época prehispánica y colonial	3
Los usos agrícolas del agua.	6
Demanda y consumo de agua en la agricultura	7
Hipótesis	7
Temario tentativo	8
Cronograma del proyecto	9
Capítulo I. Marco teórico.....	10
Antecedentes históricos del agua en México.....	13
Los usos agrícolas del agua.	16
Ciclos de cultivo	18
Demanda y consumo de agua en la agricultura	20
Evapotranspiración potencial	21
Coeficiente unitario de riego (C.U.R)	25
Captación	33
Disponibilidad del recurso hídrico	35
Pendiente media del cauce principal	40
Curvas intensidad-duración-periodo de retorno	41
Método de los números de escurrimiento.....	42
Estimación hidrológica de gastos	44
Obra de toma	53
Elementos adicionales de las obras de toma.....	53
Jagüeyes como obras de captación	54
Ventajas y desventajas.....	54
Elementos de un jagüey	55
Criterios de diseño	56
Dimensionamiento del jagüey	57

Disposición y dimensiones del vertedor.....	57
Distribución de agua.....	58
Abastecimiento de agua hacia los cultivos.....	59
Redes ramificadas.....	59
Sistema en malla.....	60
Sistemas combinados.....	60
Diseño hidráulico de conducción.....	61
Cálculo de pérdidas por fricción.....	62
Diseño de sistemas de distribución ramificados.....	66
Distribución por aspersores.....	68
Capítulo II. Reconocimiento del sitio.....	72
Memoria descriptiva.....	73
Toponimia.....	73
Macrolocalización.....	74
Microlocalización.....	75
Caracterización de la zona.....	75
Edafología.....	75
Clima y temperatura.....	76
Cultivos y superficies a considerar.....	79
Estructuras similares cercanas a la zona de estudio.....	81
Información individual de Jagüeyes.....	82
Condiciones actuales del jagüey en Benito Juárez.....	86
Capítulo III. Análisis previos.....	93
Análisis hidrológico.....	94
Determinación de la cuenca.....	94
Análisis de precipitaciones.....	95
Estación Tepeaca.....	95
Estación Vista Hermosa.....	96
Estación Acajete.....	97
Estación Acatzingo de Hidalgo.....	98
Pendiente media.....	99
Curvas P-D-Tr e I-D-Tr.....	100
Método del US Weather Service.....	101
Método de Herschfield.....	101

Precipitación efectiva	104
Número de escurrimiento N	104
Cálculo de gastos	106
Gasto método racional	106
Hidrograma unitario	108
Gasto método de Chow	110
Análisis de uso consuntivo	111
Capítulo IV. Diseño hidráulico del jagüey y sistema de riego	119
Dimensiones del vertedor	120
Dimensionamiento del jagüey	120
Sistema de riego.	122
Diámetro económico tubería PVC.....	123
Diámetro económico tubería de acero al carbón	126
Dimensionamiento de tanque de regularización.....	127
Red de distribución.....	128
Riego por aspersión	131
Cálculo de parámetros de riego	134
Conclusiones y recomendaciones.....	137
Anexos	140
Bibliografía.....	148

Índice de tablas

Tabla 1. Cultivos producidos en el municipio de Los Reyes de Juárez Fuente: Anuario estadístico SAGARPA ..	22
Tabla 2. Coeficiente global de desarrollo	24
Tabla 3. Propiedades físicas de los suelos Fuente: FAO.....	26
Tabla 4. Valores de K_p y K_v propuestos. Fuente: Escuela Centroamericana de Geología.	26
Tabla 5. Fracción de agotamiento de la humedad en el suelo. Fuente: Estudio FAO riego y drenaje	27
Tabla 6. Porcentaje de horas de sol del mes con respecto al año. Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	28
Tabla 7. Eficiencia del sistema relativo al manejo y aplicación de riego Fuente: FAO	29
Tabla 8. Formato para cálculo de uso consuntivo Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	31
Tabla 9. continuación formato para cálculo de uso consuntivo Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	31
Tabla 10. Continuación formato para cálculo de uso consuntivo Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.....	32
Tabla 11. continuación formato para cálculo de uso consuntivo Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.....	32
Tabla 12. Valores de μ y σ relacionados al número de datos. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE	38
Tabla 13. Tipos de suelos Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial	43
Tabla 14. Factor de corrección del número de escurrimiento N , según la precipitación antecedente Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial.	44
Tabla 15. Valor del número de escurrimiento N según uso y tipo de suelo Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento	45
Tabla 16. Continuación de la tabla 14.....	46
Tabla 17. Continuación de la tabla 14.....	47
Tabla 18. Continuación de la tabla 14.....	48
Tabla 19. Valores para los distintos tipos de materiales en tuberías.	64
Tabla 20. Valores de módulos de elasticidad.	65
Tabla 21. factor de reducción por pendiente Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.....	71
Tabla 22. Datos de temperatura y precipitación en la estación Acatzingo de Hidalgo	79
Tabla 23. Datos cuenca	94
Tabla 24. Datos de precipitaciones estación Tepeaca.....	95
Tabla 25. Datos de precipitaciones estación Vista Hermosa	96
Tabla 26. Datos de precipitación estación Acajete.....	97
Tabla 27. Datos de precipitaciones en estación Acatzingo.....	98
Tabla 28. Error cuadrático en estaciones climatológicas	99
Tabla 29. Pendiente media Taylor -Schwarz.....	99
Tabla 30. Tiempo de concentración.....	100
Tabla 31. Precipitación ajustada a un periodo de retorno de 2 años.	100
Tabla 32. Datos método US Weather Service.....	101
Tabla 33. Precipitaciones aplicando fórmula de Bell.....	102
Tabla 34. Obtención de intensidades	103
Tabla 35. Selección de número de escurrimiento N	105
Tabla 36. Valor de N	105
Tabla 37. Obtención de precipitación efectiva	106
Tabla 38. Cálculo del coeficiente de escurrimiento	107
Tabla 39. Continuación tabla 40.....	107
Tabla 40. Cálculo del gasto máximo método racional.....	107
Tabla 41. Datos previos para análisis método del hidrograma unitario	108
Tabla 42. Resultados hidrograma unitario	109
Tabla 43. Datos método de Chow.....	110

Tabla 44. Gastos método de Chow	110
Tabla 45. Comparativa obtención de gastos	111
Tabla 46. Estación Acatzingo de Hidalgo	111
Tabla 47. Valores de temperatura y precipitación media	112
Tabla 48. Valores de KG seleccionados.....	112
Tabla 49. Valores para el cálculo de C.U.R.	113
Tabla 50. Propiedades físicas del suelo arcilloso	114
Tabla 51. Cálculo de uso consuntivo.....	115
Tabla 52. Continuación tabla 51.....	115
Tabla 53. Continuación tablas 52	116
Tabla 54. Resumen láminas de riego.....	117
Tabla 55. Cálculo del C.U.R.	118
Tabla 56. Carga sobre el vertedor.	120
Tabla 57. Volumen acumulado anual.....	121
Tabla 58. Dimensiones del jagüey	121
Tabla 59. Niveles de proyecto.....	123
Tabla 60. Datos de tuberías PVC de acuerdo a catalogo.....	124
Tabla 61. Cálculo diámetro económico tubería PVC.....	125
Tabla 62. Cálculo diámetro económico tubería Acero al carbón.....	126
Tabla 63. Coeficiente de regulación	127
Tabla 64. Datos red para hortalizas	128
Tabla 65. Datos para red de frijol y maíz.....	128
Tabla 66. Elevaciones de los cruceros en hortalizas	129
Tabla 67. Elevaciones de los cruceros en frijol y maíz	129
Tabla 68. Red ramificada hortalizas.....	130
Tabla 69. Red ramificada frijol y maíz	130
Tabla 70. Datos para parámetros de aspersores.....	131
Tabla 71. Especificaciones técnicas aspersor VYR-16.....	133
Tabla 72. Volumen del jagüey	133
Tabla 73. Tos (sin ajuste).....	133
Tabla 74. Tos (h) con ajuste.....	133
Tabla 75. Gasto instantáneo	134
Tabla 76. Intervalos entre riegos.....	134
Tabla 77. Número de aspersores y tiempo de aplicación para hortalizas.....	134
Tabla 78. Número de posturas por día para hortalizas.....	135
Tabla 79. Numero de aspersores y tiempo de aplicación para maíz y frijol	135
Tabla 80. Número de posturas por día para maíz y frijol.....	135

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Evapotranspiración potencial mensual. Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	22
Ecuación 2. Factor de temperatura y luminosidad Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	23
Ecuación 3. Altura de precipitación efectiva. Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	25
Ecuación 4. Coeficiente de infiltración Fuente: Escuela Centroamericana de Geología.....	25
Ecuación 5. Valor de K _{fc} . Fuente: Escuela Centroamericana de Geología.....	25
Ecuación 6. Lámina de riego neta Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	27
Ecuación 7. Lámina de riego bruta Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	29
Ecuación 8, Calculo de C.U.R. Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo	30
Ecuación 9. Distribución normal estándar. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE	36
Ecuación 10. Obtención parámetro alfa de ecuación 3 Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE.....	36

<i>Ecuación 11. Distribución logaritmo-normal Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE</i>	36
<i>Ecuación 12. Parámetros para distribución de Pearson III Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE</i>	37
<i>Ecuación 13. Ecuación para obtención de sesgo. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE</i>	37
<i>Ecuación 14. Ecuación Distribución Pearson III Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE</i>	37
<i>Ecuación 15. Parámetros de Distribución de Gumbel. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE</i>	37
<i>Ecuación 16. Distribución de Gumbel. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE</i>	37
<i>Ecuación 17. Periodo de retorno y probabilidad. Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial.</i>	38
<i>Ecuación 18. Pendiente media por el método de desnivel/longitud. Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial.</i>	40
<i>Ecuación 19. Pendiente media método Taylor-Schwarz. Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial.</i>	40
<i>Ecuación 20. Tiempo de concentración fórmula Kirpich. Fuente: ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES</i>	40
<i>Ecuación 21. Ecuación de Bell Fuente: Ecuaciones ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración</i>	41
<i>Ecuación 22. Precipitación efectiva. Fuente: Principios y fundamentos de la Hidrología superficial</i>	42
<i>Ecuación 23. Valor de N Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial.</i>	43
<i>Ecuación 24. Fórmula método racional Fuente: Introducción a la hidrología urbana</i>	48
<i>Ecuación 25. Gasto pico Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial</i>	49
<i>Ecuación 26. Tiempo pico. Fuente: Principio y fundamentos de hidrología superficial</i>	49
<i>Ecuación 27. Gasto pico Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial</i>	50
<i>Ecuación 28. Tiempo de retraso Fuente: Introducción a la hidrología urbana</i>	52
<i>Ecuación 29. Duración de exceso Fuente: Instituto de ingeniería UNAM</i>	52
<i>Ecuación 30. Fórmula para cálculo de volumen de un cono truncado</i>	57
<i>Ecuación 31. Fórmula de Francis. Fuente: SAGARPA</i>	58
<i>Ecuación 32. Carga del vertedor</i>	58
<i>Ecuación 33. Pérdidas por fricción. Fuente: Manual para el diseño de sistemas de minirriego</i>	62
<i>Ecuación 34. Cálculo del caudal</i>	63
<i>Ecuación 35. Pérdidas de fricción ecuación de Manning</i>	63
<i>Ecuación 36. Valor de K</i>	63
<i>Ecuación 37. Potencia de la bomba</i>	63
<i>Ecuación 38. Golpe de ariete</i>	64
<i>Ecuación 39. Gasto unitario. Fuente: César Valdez Abastecimiento de agua potable</i>	66
<i>Ecuación 40. Cálculo de diámetro de tubería. Fuente: César Valdez Abastecimiento de agua potable</i>	66
<i>Ecuación 41. Reducción expresión de cálculo del diámetro</i>	67
<i>Ecuación 42. Pérdidas de carga Hazen y Williams. Fuente: César Valdez Abastecimiento de agua potable ...</i>	67
<i>Ecuación 43. Tiempo de operación del sistema Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO</i>	69
<i>Ecuación 44. gasto instantáneo Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.</i>	69
<i>Ecuación 45. Número de aspersores. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.</i>	69
<i>Ecuación 46. Déficit de caudal. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.</i>	69
<i>Ecuación 47. Separación entre aspersores Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.</i>	70
<i>Ecuación 48. Pluviometría de un aspersor. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO</i>	70

Ecuación 49. Pluviometría máxima permisible. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.....	70
Ecuación 50. tiempo de aplicación. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO .	70
Ecuación 51. Superficie por postura. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO	71
Ecuación 52. Superficie regada por día. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.....	71
Ecuación 53. Número de posturas por día. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.....	71
Ecuación 54. Dimensionamiento del tanque de regularización.....	127

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Ciclo hidrológico Fuente: Los procesos del ciclo hidrológico.....	35
Ilustración 2. Canal de llamada Fuente: Diseño y construcción de jagüeyes SAGARPA	55
Ilustración 3. Vertedor de excedencias Fuente: Diseño y construcción de jagüeyes SAGARPA	56
Ilustración 4. Estabilidad de taludes. Fuente: Diseño y construcción de jagüeyes SAGARPA	56
Ilustración 5. Ejemplo de red ramificada Fuente: Sustainable Sanitation and Water Management	59
Ilustración 6. Ejemplo de red en malla Fuente: Sustainable Sanitation and Water Management.....	60
Ilustración 7. Ejemplo de red mixta Fuente: Sustainable Sanitation and Water Management	60
Ilustración 8. Equilibrio dinámico. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego	61
Ilustración 9. Glifo Los Reyes de Juárez	73
Ilustración 10. Estado de Puebla	74
Ilustración 11. Localidad de Benito Juárez.....	75
Ilustración 12. Carta edafológica.....	75
Ilustración 13. Mapa climas Fuente: IEFYS	77
Ilustración 14. Grupo tipo C Fuente: IEFYS.....	77
Ilustración 15. Estación climatológica Acatzingo	78
Ilustración 16. Estaciones climatológicas de acuerdo a la zona de estudio	79
Ilustración 17. Zona de riego	80
Ilustración 18. División para cada tipo de cultivo.....	81
Ilustración 19. Jagüey y barranca Google Earth	86
Ilustración 20. Canal de derivación Google Earth.....	87
Ilustración 21. Barranca Google Earth	87
Ilustración 22. Foto aguas arriba Fuente: propia	88
Ilustración 23. Foto aguas abajo Fuente: propia	88
Ilustración 24. Foto dique Fuente: propia.....	88
Ilustración 25. Foto Izquierda dique Fuente: propia	89
Ilustración 26. Foto Izquierda dique Fuente: propia	89
Ilustración 27. Foto Canal de derivación Fuente: propia	89
Ilustración 28. Foto Canal de derivación Fuente: propia	89
Ilustración 29. Dique y aguas abajo Fuente: propia	90
Ilustración 30. Canal Fuente: propia.....	90
Ilustración 31. Foto jagüey 26/junio/2021 Fuente: propia	91
Ilustración 32. Foto1, vertedor de excedencias	91
Ilustración 33. Foto 2, vertedor de excedencias	91
Ilustración 34. Carta topográfica E14B44 e.....	94
Ilustración 35. Comparativa análisis probabilísticos en estación Tepeaca.....	96
Ilustración 36. Comparativa análisis probabilísticos estación Vista Hermosa.....	97
Ilustración 37. Comparativa análisis probabilísticos estación Acajete	98
Ilustración 38. Comparativo análisis probabilísticos estación Acatzingo	99
Ilustración 39. Gráfica precipitación $d= 1$ hora y $Tr= 2$ años	101
Ilustración 40. Gráfica curvas P-D- Tr	102
Ilustración 41. Curvas I-D-Tr	103
Ilustración 42. Uso de Suelo en la cuenca.....	104

Ilustración 43. Grafica de resultados método hidrograma unitario 108
Ilustración 44.Línea de conducción..... 122
Ilustración 45. Niveles de proyecto..... 123

Índice de cuadros sinópticos

Cuadro sinóptico 1. Factores de intervención en los cultivos 19
Cuadro sinóptico 2. Factores de intervención en análisis del recurso hídrico..... 30
Cuadro sinóptico 3. Obras de captación Fuente: MAPAS CONAGUA 34
Cuadro sinóptico 4. Análisis hidrológico Fuente: Propia..... 39
Cuadro sinóptico 5. Factor de reducción Z. Fuente: II UNAM 52
Cuadro sinóptico 6.Factores de intervención en las pérdidas por fricción. Fuente: Manual para el diseño de sistemas de minirriego 62

Índice de mapas conceptuales

Mapa conceptual 1. Usos comunes de las obras de captación. Fuente:CONAGUA..... 14

Índice de graficas

Gráfica 1. Hidrograma unitario adimensional Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial 51

Planteamiento del problema

Benito Juárez es una comunidad que pertenece al municipio de los Reyes de Juárez en el estado de Puebla, donde la principal actividad económica se basa en la agricultura siendo así tan importante esta actividad que el municipio es una de las entidades que aporta mayor cantidad de hortalizas, “*ocupando el tercer lugar a nivel nacional en cultivo de hortalizas a cielo abierto...*” (SADER Puebla,2014) , en donde los principales productos que tiene la zona son maíz, frijol, ajo, brócoli, cebolla, calabacita, coliflor, lechugas, jitomate, tomate verde y zanahoria.

El actual modelo de riego proviene de sistemas de perforación de pozos que por consecuencia no pueden cubrir la totalidad de cultivos debido a la limitación de los mantos acuíferos y a las partes altas donde ya no es costeable un sistema de bombeo, es por eso que parte de los agricultores se ven forzados a trabajar únicamente en las temporadas de lluvia donde las siembras consisten entre frijol y maíz que no siempre tienen las cosechas esperadas debido a que el riego es fundamental para una cosecha exitosa y la aplicación de agua en las cantidades necesarias para el desarrollo en las primeras etapas de los cultivos debido a que los productos están compuestos en alto porcentaje de agua, son susceptibles a retrasar su madurez y reducir su rendimiento cuando ocurre un estrés hídrico y por lo tanto afectan su calidad en las últimas etapas pre-cosecha.

Bajo ese contexto se ve un interés creciente en atender los cultivos que están dentro de las actividades de agricultura temporal y además el de mantener la flora del paisaje mismo para diversificar los nutrientes en las parcelas y todo esto mediante técnicas que permitan cosechar el agua de lluvia a través de la implementación de un jagüey como complemento al actual modelo de abastecimiento, que permita captar el agua proveniente de los escurrimientos para después durante las épocas de mayor rezago hídrico conducirlo a las tierras de cultivo a través de sistemas de riego.

Justificación

En la comunidad de Benito Juárez la agricultura juega un papel crucial en el desarrollo económico, dado que esta actividad permite el sustento para la gran

mayoría de la comunidad, así como para las comunidades aledañas que aportan en cantidad la mano de obra.

De acuerdo con información consultada en los reportes de avance en siembras y cosechas emitidos por la SAGARPA para el año 2020, en el estado de Puebla tomando el municipio de Los Reyes de Juárez, que es el municipio al que pertenece la comunidad, en la modalidad de cultivos con riego se tienen 1143 hectáreas de cultivos que consisten de productos como brócoli, cebolla, lechuga, tomate, jitomate y zanahoria, solo por mencionar algunos, mientras que para la modalidad de temporal se consideran 342 hectáreas de cultivos que constan de plantas como el maíz y frijol, teniendo un total de producción de 20521.64 toneladas de producción anuales.

Según estadísticas emitidas por la SAGARPA en el reporte de Unidades de producción con superficie agrícola de riego según origen del agua, se tiene que el estado de Puebla se mantiene como el tercer lugar a nivel nacional en producción agrícola a cielo abierto, tomando en cuenta esta información al implementar proyectos de esta índole el beneficio que se obtendrá es que los agricultores de la localidad podrán aumentar las cantidades de producción que genera o incluso poder variar los cultivos que se tienen durante la época de estiaje en las parcelas de temporal ya que no solo se sembrarán maíz y frijol pues la disponibilidad de agua en las cantidades necesarias para las plantas permitirá que se desarrollen adecuadamente durante el año y no solo considerando las temporadas de lluvias. Se opta por un sistema un tanto simple en operación como lo es un jagüey dado que no se requiere personal de tiempo completo para garantizar el funcionamiento del sistema al captar el agua de lluvia además de que los sistemas tradicionales son mejor aceptados porque se tiene más conocimiento debido a la frecuencia de estos en poblaciones alrededor y que estableciendo sistemas de organización social de los mismos que se benefician directamente puedan realizar las tareas que se plantearán para su uso y operación. Para comprender mejor la situación en la que se encuentra actualmente el lugar de interés es necesario realizar la caracterización de Benito Juárez, Los Reyes de Juárez, Puebla, realizando la

memoria descriptiva que nos brindará un panorama general del lugar como se detalla a continuación.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Realizar el diseño hidráulico del sistema de abastecimiento para uso de riego en hectáreas de cultivo, en la comunidad Benito Juárez del municipio Los Reyes de Juárez, Puebla.

Objetivos específicos

- Analizar las características hidrológicas del sitio por medio de un estudio hidrológico para conocer el comportamiento de los recursos hídricos en la zona de interés.
- Identificar los cultivos que hay en la zona y obtener las características tanto del cultivo como del suelo para garantizar su desarrollo.
- Realizar el uso consuntivo de los cultivos en la zona para determinar los volúmenes necesarios que requieren las plantas para su desarrollo.
- Seleccionar los componentes de un sistema de distribución de agua para permitir que el agua captada llegue a la zona de cultivo.
- Proponer recomendaciones para la construcción, operación y mantenimiento del jagüey.

Marco teórico

Antecedentes históricos del agua en México

Obras hidráulicas en la época prehispánica y colonial

Se mencionarán algunas de las técnicas hidráulicas que se emplearon en épocas prehispánicas en zonas como el centro y sur de México, así como parte de Centroamérica y la adaptación de tecnologías traídas por los españoles, además el desarrollo que surgió en los siglos XIX y XX para lograr una mejor captación que logre expandir el alcance de los cultivos en un país que presentaba crecimiento. Se tocan temas como los anteriores con la finalidad de entender nuestro pasado y conseguir aplicar lo aprendido en el presente y futuro.

Durante la época prehispánica existían grupos que se dedicaban a actividades como la pesca y caza, pero no sin dejar de lado la agricultura pues este en sí era su principal sustento, sus métodos variaron en el transcurso del tiempo, así como los de las formas de procurarse el agua, los métodos en América y siendo más objetivos, en lo que es actualmente el territorio mexicano iban evolucionando a la par de las civilizaciones del resto del mundo. La domesticación de las plantas tuvo lugar hace aproximadamente diez mil años y en consecuencia surge la agricultura, usando como principales fuentes de abastecimiento de agua las provenientes de precipitaciones y de los manantiales.

Dentro de las obras destinadas a uso doméstico la principal fuente a las que se veían sujetas era la proveniente de la lluvia, pues en Mesoamérica fueron prácticas muy comunes y era conducida a través de canales hacia depósitos subterráneos que se creaban en las viviendas con recipientes de barro, aunque también se construían pilas o piletas. Se tiene registro de almacenes que datan del año 1000 a.C. en el área de San José Mogote, Oaxaca.

El agua también se captaba hacia depósitos a cielo abierto como lo son los jagüeyes y estos a su vez fueron muy frecuentes en el centro y sur de México, por lo general se consideraban en zonas áridas o semiáridas o incluso en zonas muy rocosas donde era complicado alcanzar el nivel freático y por lo tanto se planteaban soluciones dirigidas hacia la construcción de jagüeyes.

Con el uso del agua, las civilizaciones prehispánicas pretendían un mayor crecimiento basado en los cultivos, es por eso que se enfocaban hacia obras dirigidas en esta rama y como se mencionó anteriormente su principal fuente de abastecimiento era la lluvia, donde se aplicaba directamente en cultivos de temporal. Está claro que el riego era parte importante de estos sistemas pues era usado como instrumento para expandirse hacia otras zonas de cultivo y para lograr este fin se empezaron a ampliar las fuentes de abastecimiento y por ende se empezaron a explotar los manantiales e incluso se comenzó a encauzar agua proveniente de ríos, por otra parte, para las temporadas de secas se optaba por presas derivadoras medianas.

Entre los sistemas de riego más antiguos presentes en Mesoamérica podemos mencionar el de Cuicuilco, que se encuentra en lo que es actualmente la ciudad de México, en general los más importantes o de mayor impacto para las civilizaciones del México prehispánico se encontraban en lo que hoy es la capital debido a que las condiciones lacustres que se presentaban en ese entonces favorecían a la implementación de sistemas para el control de aguas.

Los sistemas de riego a lo largo de su evolución como primera instancia se consideraban sistemas en donde la fuente de abastecimiento era a base de la recolección de agua pluvial pero una vez que se consideró la opción de expandir las tierras de cultivo esto no fue suficiente y se empezó a emplear sistemas con instalaciones permanentes o temporales que consistía básicamente en llevar el agua de ríos, arroyos y manantiales hasta los lugares requeridos, una vez llegando hasta este punto las necesidades que se tenían obligaban a la sociedad a entrar en una constante mejora de estos sistemas pues se empezaron a generar avances en el área de la hidráulica al crear obras con mayor alcance y que implicaban más conocimiento como por ejemplo, las presas derivadoras transitorias.

A la llegada de los españoles y considerando que eran personas provenientes de un lugar muy alejado de las tierras de Mesoamérica, era muy evidente que se encontrarían con diferencias sociales y políticas, en el área de la hidráulica no sería la excepción pues con el ingreso de herramientas innovadoras para la sociedad se hicieron mejoras en sus técnicas como lo fue el uso de la palanca, que se usaba para extraer y elevar agua que se encontraba en pozos, otro ejemplo son las compuertas, o incluso el uso de animales como fuerza de trabajo a esto debe sumarse que las obras ahora contaban con un factor extra, pues las construcciones hidráulicas se combinaban con elementos arquitectónicos que marcaban la diferencia entre los periodos, esto solo por mencionar algunas de sus aportaciones. La finalidad era volverlos más eficientes y estéticos, todo esto se hizo a su manera, sin considerar el funcionamiento previo al que ya estaban sometidos, la consecuencia de su decisión fue que gran parte de las obras previas a su llegada quedaron en desuso.

A grandes rasgos con la llegada de los españoles si se eficientaron los sistemas dirigidos a la agricultura, pero su prioridad se mantuvo en la creación de obras que representaran beneficios para sus propias instituciones.

Los usos agrícolas del agua.

La agricultura presentó cambios durante las épocas prehispánicas y coloniales pero una vez ya establecidos completamente los españoles la agricultura careció de innovaciones durante un periodo significativo, pues la expansión de españoles hacia territorios del Norte no permitía un mayor enfoque en este tema, por lo tanto, se continuo con prácticas de barbecho y rotación de cultivos.

Además otro factor que influyó fue la baja demográfica que se presentó a consecuencia de epidemias, así que por un tiempo la agricultura se mantuvo sin variaciones hasta la mitad del siglo XVIII que fue cuando se empezó a tener evidencia de técnicas que manejaban los recursos naturales de manera muy eficiente, de hecho las técnicas se mantuvieron hasta hoy en día ya que tres de las más importantes regiones enfocadas en la agricultura continuaron con la práctica, a esta práctica se le denomina “entarquinamiento” y consistía en controlar las aguas producto de lluvias torrenciales mediante la construcción de presas, para así poder tener un control artificial y temporal sobre el recurso.

Para inicios del siglo XIX la agricultura con un enfoque más comercial empezó a impulsarse en el ámbito privado y público , pues una vez establecidos sistemas de riego se comenzó a mecanizar, mejorar semillas e incluso el desarrollo de las bombas hidráulicas permitieron expandir sus alcances a través de los sistemas subterráneos, también la aplicación de bombas hizo posible la excavación de pozos más profundos con mayor capacidad de extracción incluso a varios metros de profundidad esto con el propósito de tener disponibilidad para más área de cultivo. Con referencia a la información anterior podemos deducir que la mayor cantidad de agua de la que se dispone se concentra para usos en la agricultura para así poder generar una estabilidad alimentaria, como esto está ligado al crecimiento de la población como consecuencia se deberán disponer de mayores volúmenes para dicha actividad.

Pues como bien se conoce en la agricultura debe establecerse una rotación de cultivos para así poder aprovechar al máximo el recurso hídrico, es decir, decidir en qué estación del año (primavera, verano, otoño o invierno) es más conveniente sembrar un determinado tipo de semilla, al mismo tiempo al hacer estas rotaciones los agricultores tienen la oportunidad de variar los nutrientes del suelo para así generar mejores cosechas, además se deben establecer cultivos en los cuales las condiciones climáticas permitan que lleguen a un desarrollo óptimo y que su lugar de origen sea muy similar al clima sobre el cual estamos sembrando la semilla. Esos son algunos factores que se deben de considerar a la hora de establecer qué tipo de cultivo será sembrado.

Demanda y consumo de agua en la agricultura

En la agricultura como ya se mencionó el agua juega un papel importante, pues una vez sembradas las semillas requieren de agua para poder desarrollarse en cada una de sus etapas, además de que la calidad de los productos depende mucho de los cuidados que se le den y de la cantidad de agua que se les proporcione.

Para poder garantizar que los cultivos tienen la cantidad de agua necesaria es posible recurrir análisis en donde se identifica el tipo de cultivo y el área sobre la cual se planea la siembra. Conocer la cantidad de agua necesaria para riego implica realizar el análisis de los cultivos considerando las diferentes etapas que presentan. El consumo de agua corresponde a la evapotranspiración, que como ya se mencionó es el volumen de agua que requiere cada etapa de la planta, es importante mencionar que la producción agrícola depende de más factores además de la cantidad de agua necesaria por etapa, por ejemplo, la radiación solar, temperatura del aire, variedad del cultivo, fertilidad del suelo, método de riego, prácticas de cultivos, entre otros. Estos son factores impactan sobre la calidad de producción.

Hipótesis

El presente proyecto tiene la finalidad de diseñar hidráulicamente un jagüey para uso de riego en la comunidad de Benito Juárez perteneciente al municipio de los Reyes de Juárez, Puebla. Con el diseño del jagüey, la disponibilidad del agua será

mayor en las temporadas donde es escasa y cubrirá la demanda necesaria que los cultivos requieren para su etapa de máximo consumo, permitiendo que las parcelas de temporal se trabajen durante la mayor parte del año y así lograr una estabilidad económica para los propietarios además de permitir la diversificación de los cultivos en la modalidad de temporal.

Temario tentativo

En el capítulo I se llevará a cabo la recopilación de información sobre el lugar, comprendiendo y definiendo los conceptos que se emplearán durante el desarrollo del proyecto de investigación, se definirán las variables para el estudio hidrológico, así como la definición del método a emplear para la determinación del uso consuntivo, de acuerdo al tipo de cultivo que se desarrolla en la zona, así mismo se definirán los conceptos y criterios de diseño para la determinación del volumen del jagüey.

En el capítulo II se realiza el reconocimiento del sitio, generando la caracterización del sitio, indicando la cantidad de producción actual, para compararla con la que se puede generar al realizar el desarrollo del presente proyecto de investigación, ubicación geográfica, levantamiento topográfico, e investigación de los datos básicos de diseño.

En el capítulo III, se elaborarán los cálculos de los estudios previos para la determinación del volumen necesario del jagüey a diseñar, tales como el estudio hidrológico, caracterización del tipo de suelo, uso consuntivo, y con esto obtener los datos que se requieren para la ejecución del diseño hidráulico.

En el capítulo IV, se elaborará a detalle la memoria de cálculo basada en los métodos de diseño hidráulico del jagüey, se describirá el proceso constructivo, de tal manera que se indiquen la metodología para la adecuada ejecución en cuanto a funcionalidad y así obtener una propuesta viable para la población.

Para finalizar se brindarán las conclusiones generales del proyecto, obteniendo el dimensionamiento necesario de acuerdo con diseño hidráulico, así como las

recomendaciones generales para el desarrollo del proyecto, con el cual se beneficie a la comunidad.

Cronograma del proyecto

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																				
	Septiembre				Octubre				Noviembre					Diciembre				Enero			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>Capítulo I</i>	■	■	■	■																	
<i>Capítulo II</i>					■	■	■	■													
<i>Capítulo III</i>									■	■	■	■	■	■	■	■	■				
<i>Capítulo IV</i>																		■	■	■	■
<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>																					■

Capítulo I. Marco teórico

En nuestro planeta el agua sin lugar a dudas es un recurso natural de vital importancia ya que gracias a este elemento es que se propiciaron las condiciones de vida aptas para la habitabilidad de las primeras formas de vida así también de las civilizaciones que nos anteceden y que debido a los beneficios que traía consigo se le atribuían deidades para no tener sequías y continuar con su ciclo de producción así hasta llegar a la sociedad que actualmente conocemos hoy en día en donde el agua siempre ha tenido un papel importante pues es la vía para funciones importantes en el planeta ya sea en los ecosistemas acuáticos o terrestres.

Este recurso es imprescindible para la subsistencia de seres humanos, animales y plantas, considerando que el agua se ocupa en la mayoría de los procesos presentes en la actualidad y que gracias a la huella hídrica podemos medir el volumen del recurso utilizado en determinados productos para poder tener una noción de lo que el agua representa y su impacto sobre la vida diaria.

No es de sorprenderse que gracias a este elemento natural se garantice una seguridad alimentaria, pues es indispensable para el desarrollo vegetal y de ahí el interés de desarrollar proyectos que permitan un mejor aprovechamiento del recurso.

Por otro lado, el agua en sí ya está sometido a un ciclo natural conocido como ciclo hidrológico, en donde en grandes rasgos las aguas líquidas se evaporan por acción del sol hacia la atmósfera, formando cúmulos que se condensan en nubes para que posteriormente se precipite al suelo, este ciclo tiene una relación estrecha con la estabilidad climática.

Los elementos antes mencionados como son la evaporación, condensación y precipitación forman el ciclo del agua, que es el que permite que los ríos mantengan un cauce permanente, en el mejor de los casos, para así alimentar a los lagos que estos a su vez alimentan a los mantos acuíferos.

A partir de la localización de los mantos acuíferos se pueden establecer procesos para abastecer y satisfacer la demanda a la que se destinen, puede ser para consumo diario como lo son la higiene, vestido, electricidad y consumo directo o bien para destinarlos a riego.

Debido a que la disponibilidad del recurso está ligado al crecimiento de las poblaciones y considerando que durante los últimos años las condiciones climáticas se ven muy cambiantes a consecuencia del calentamiento global, la disponibilidad del agua es cada vez menor o requiere de mayores procesos para poder ser utilizada en el consumo, pues el agua no se suministra de forma natural y antes debe haber procesos de extracción, tratamiento y conducción, que considerando lo antes mencionado del calentamiento global los procesos se vuelven más complejos y costosos.

Es por eso que el calentamiento global se vuelve un problema de mayor relevancia con el paso del tiempo, pues siendo testigos de algunos de los problemas que puede presentar, como lo son sequías con periodos de presencia significativos que traen como consecuencia un estrés hídrico en las zonas donde se presenta o bien periodos de lluvia muy atípicos y prolongados que provoquen inundaciones en donde se pueden contaminar el agua ya disponible para consumo.

Considerando variables como el calentamiento global, el cambio climático y la contaminación de los recursos hídricos hace que el panorama se vuelva apocalíptico para el agua en un periodo cada vez más cercano si no se toman acciones pertinentes que disminuyan el impacto de las variables, de no ser así la población está destinada a sufrir escasez de agua en las próximas décadas, es por eso que se reitera el cuidado del agua y el aprovechamiento al máximo de este vital recurso.

Como ya se mencionó en párrafos anteriores, visto desde un punto de vista con enfoque hacia la agricultura, la disponibilidad del recurso está relacionada con una seguridad alimentaria, en este aspecto el crecimiento económico de comunidades productoras de hortalizas está sujetas a la cantidad de agua disponible, es bien sabido que para la agricultura se necesitan volúmenes muy altos ya que gran parte de los cultivos se riegan por métodos de inundación o surcos. Temas con enfoque hacia la captación de agua se vuelven de interés para las comunidades con estas características, mencionando que la falta de agua traería consigo la muerte de los cultivos, así como del ganado y por consecuencia escasez de alimento.

Antecedentes históricos del agua en México

Obras hidráulicas en la época prehispánica y colonial

Se mencionarán algunas de las técnicas hidráulicas que se emplearon en épocas prehispánicas en zonas como el centro y sur de México, así como parte de Centroamérica y la adaptación de tecnologías traídas por los españoles, además el desarrollo que surgió en los siglos XIX y XX para lograr una mejor captación que logre expandir el alcance de los cultivos en un país que presentaba crecimiento. Se tocan temas como los anteriores con la finalidad de entender nuestro pasado y conseguir aplicar lo aprendido en el presente y futuro.

Durante la época prehispánica existían grupos que se dedicaban a actividades como la pesca y caza, pero no sin dejar de lado la agricultura pues este en sí era su principal sustento, sus métodos variaron en el transcurso del tiempo, así como los de las formas de procurarse el agua, los métodos en América y siendo más objetivos, en lo que es actualmente el territorio mexicano iban evolucionando a la par de las civilizaciones del resto del mundo. La domesticación de las plantas tuvo lugar hace aproximadamente diez mil años y en consecuencia surge la agricultura, usando como principales fuentes de abastecimiento de agua las provenientes de precipitaciones y de los manantiales.

Además de las obras relacionadas con la agricultura también se establecieron obras relacionadas con otros usos como los que se muestran en el mapa conceptual 1. Dentro de las obras destinadas a uso doméstico la principal fuente a las que se veían sujetas era la proveniente de la lluvia, pues en Mesoamérica fueron prácticas muy comunes y era conducida a través de canales hacia depósitos subterráneos que se creaban en las viviendas con recipientes de barro, aunque también se construían pilas o piletas. Se tiene registro de almacenes que datan del año 1000 a.C. en el área de San José Mogote, Oaxaca.

Mapa conceptual 1. Usos comunes de las obras de captación. Fuente: CONAGUA



El agua también se captaba hacia depósitos a cielo abierto como lo son los jagüeyes y estos a su vez fueron muy frecuentes en el centro y sur de México, por lo general se consideraban en zonas áridas o semiáridas o incluso en zonas muy rocosas donde era complicado alcanzar el nivel freático y por lo tanto se planteaban soluciones dirigidas hacia la construcción de jagüeyes.

Con el uso del agua, las civilizaciones prehispánicas pretendían un mayor crecimiento basado en los cultivos, es por eso que se enfocaban hacia obras dirigidas en esta rama y como se mencionó anteriormente su principal fuente de abastecimiento era la lluvia, donde se aplicaba directamente en cultivos de temporal. Está claro que el riego era parte importante de estos sistemas pues era usado como instrumento para expandirse hacia otras zonas de cultivo y para lograr este fin se empezaron a ampliar las fuentes de abastecimiento y por ende se empezaron a explotar los manantiales e incluso se comenzó a encauzar agua proveniente de ríos, por otra parte, para las temporadas de secas se optaba por presas derivadoras medianas.

Entre los sistemas de riego más antiguos presentes en Mesoamérica podemos mencionar el de Cuicuilco, que se encuentra en lo que es actualmente la ciudad de México, en general los más importantes o de mayor impacto para las civilizaciones

del México prehispánico se encontraban en lo que hoy es la capital debido a que las condiciones lacustres que se presentaban en ese entonces favorecían a la implementación de sistemas para el control de aguas.

Los sistemas de riego a lo largo de su evolución como primera instancia se consideraban sistemas en donde la fuente de abastecimiento era a base de la recolección de agua pluvial pero una vez que se consideró la opción de expandir las tierras de cultivo esto no fue suficiente y se empezó a emplear sistemas con instalaciones permanentes o temporales que consistía básicamente en llevar el agua de ríos, arroyos y manantiales hasta los lugares requeridos, una vez llegando hasta este punto las necesidades que se tenían obligaban a la sociedad a entrar en una constante mejora de estos sistemas pues se empezaron a generar avances en el área de la hidráulica al crear obras con mayor alcance y que implicaban más conocimiento como por ejemplo, las presas derivadoras transitorias.

A la llegada de los españoles y considerando que eran personas provenientes de un lugar muy alejado de las tierras de Mesoamérica, era muy evidente que se encontrarían con diferencias sociales y políticas, en el área de la hidráulica no sería la excepción pues con el ingreso de herramientas innovadoras para la sociedad se hicieron mejoras en sus técnicas como lo fue el uso de la palanca, que se usaba para extraer y elevar agua que se encontraba en pozos, otro ejemplo son las compuertas, o incluso el uso de animales como fuerza de trabajo a esto debe sumarse que las obras ahora contaban con un factor extra, pues las construcciones hidráulicas se combinaban con elementos arquitectónicos que marcaban la diferencia entre los periodos, esto solo por mencionar algunas de sus aportaciones. La finalidad era volverlos más eficientes y estéticos, todo esto se hizo a su manera, sin considerar el funcionamiento previo al que ya estaban sometidos, la consecuencia de su decisión fue que gran parte de las obras previas a su llegada quedaron en desuso.

A grandes rasgos con la llegada de los españoles si se eficientaron los sistemas dirigidos a la agricultura, pero su prioridad se mantuvo en la creación de obras que representaran beneficios para sus propias instituciones.

Los usos agrícolas del agua.

La agricultura presentó cambios durante las épocas prehispánicas y coloniales pero una vez ya establecidos completamente los españoles la agricultura careció de innovaciones durante un periodo significativo, pues la expansión de españoles hacia territorios del Norte no permitía un mayor enfoque en este tema, por lo tanto, se continuo con prácticas de barbecho y rotación de cultivos.

Además otro factor que influyó fue la baja demográfica que se presentó a consecuencia de epidemias, así que por un tiempo la agricultura se mantuvo sin variaciones hasta la mitad del siglo XVIII que fue cuando se empezó a tener evidencia de técnicas que manejaban los recursos naturales de manera muy eficiente, de hecho las técnicas se mantuvieron hasta hoy en día ya que tres de las más importantes regiones enfocadas en la agricultura continuaron con la práctica, a esta práctica se le denomina “entarquinamiento” y consistía en controlar las aguas producto de lluvias torrenciales mediante la construcción de presas, para así poder tener un control artificial y temporal sobre el recurso.

Para inicios del siglo XIX la agricultura con un enfoque más comercial empezó a impulsarse en el ámbito privado y público , pues una vez establecidos sistemas de riego se comenzó a mecanizar, mejorar semillas e incluso el desarrollo de las bombas hidráulicas permitieron expandir sus alcances a través de los sistemas subterráneos, también la aplicación de bombas hizo posible la excavación de pozos más profundos con mayor capacidad de extracción incluso a varios metros de profundidad esto con el propósito de tener disponibilidad para más área de cultivo. Con referencia a la información anterior podemos deducir que la mayor cantidad de agua de la que se dispone se concentra para usos en la agricultura para así poder generar una estabilidad alimentaria, como esto está ligado al crecimiento de la población como consecuencia se deberán disponer de mayores volúmenes para dicha actividad.

Pues como bien se conoce en la agricultura debe establecerse una rotación de cultivos para así poder aprovechar al máximo el recurso hídrico, es decir, decidir en qué estación del año (primavera, verano, otoño o invierno) es más conveniente

sembrar un determinado tipo de semilla, al mismo tiempo al hacer estas rotaciones los agricultores tienen la oportunidad de varias los nutrientes del suelo para así generar mejores cosechas, además se deben establecer cultivos en los cuales las condiciones climáticas permitan que lleguen a un desarrollo óptimo y que su lugar de origen sea muy similar al clima sobre el cual estamos sembrando la semilla. Esos son algunos factores que se deben de considerar a la hora de establecer qué tipo de cultivo será sembrado.

Los cultivos se clasifican en los siguientes grupos:

Cereales. Estos se caracterizan por tener un alto contenido en carbohidratos, la SAGARPA lo define como un conjunto de semillas que pertenecen a la familia conocida como gramíneas. Esta familia incluye al trigo, arroz, maíz, cebada, sorgo, centeno, entre otros. Además, este tipo de cultivos son los de mayor impacto y por ende tienen mayores áreas de cultivo y son cultivos muy recurrentes a lo largo del territorio.

Leguminosas. “Son las plantas de las cuales se cosechan las legumbres que son un fruto formado por una vaina que encierra en su interior una semilla o una hilera de semillas, que se consumen secas” (SAGARPA;2016). Dentro de este grupo podemos mencionar los frijoles, lentejas, habas, garbanzo, solo por mencionar algunos.

Hortalizas. Se le denomina así al conjunto de plantas que son cultivadas en huertos, estos cultivos se identifican al conocer y reconocer la estructura de sus ocho partes subterráneas (raíces, tubérculos, bulbos, tallos, frutos, hojas, flores y semillas). (SAGARPA, 2016). Estos cultivos poseen una gran capacidad de adaptación. Dentro de este grupo entran los jitomates, lechuga, brócoli, espinaca, acelga, zanahoria, calabacita, pepino, coliflor, etcétera.

Frutales. En este grupo se consideran los cultivos de ciclos largos pues generalmente las cosechas son anuales, pero se requieren cuidados a los árboles

durante el resto del año, considerando por SAGARPA se define como arboles a las plantas que tienen una copa definida y un tronco que forma tallos secundarios o ramas y dan frutos, dentro de este grupo podemos considerar al mango, al manzano, naranjo, limonero, mandarina ciruelo, entre otros.

Tubérculos. Son cultivos de ciclo corto, “son tallos subterráneos y modificados en el que se acumulan los nutrientes de reserva para las plantas” (SAGARPA, 2015).

Dentro de este grupo se pueden considerar, la papa, la zanahoria, yuca.

Ornamentales. Este tipo de cultivos son utilizadas generalmente para decoración sin ser comercializadas como alimento, muchas de estas son por sus flores o incluso por sus tallos, la duración del ciclo puede variar de acuerdo a la especie que se cultiva.

Esta es solo una clasificación muy general de los cultivos y grandes rasgos de las especies, aunque si se consideran más tipos de cultivos puede que no estén dentro de la clasificación o que presenten conflicto en el momento en el que se quiera agrupar dentro de un tipo.

Los cultivos también tienden a reproducirse mejor bajo ciertas condiciones climáticas o incluso algunos tienen mejor resistencia sobre otros en los climas donde las temperaturas bajan ya que su estructura así lo permite, por eso es importante conocer cómo funcionan los ciclos de cultivo.

Ciclos de cultivo

Actualmente el campo paso a ser un sector estratégico para la economía del país y según el informe de SAGARPA para la planeación agrícola nacional 2016-2030 en este sector trabajan 5.3 millones de personas aproximadamente y de ahí su importancia.

Es evidente el impacto que tiene la agricultura y sobre todo los productos que se obtienen de esta, aunque en realidad muchos de estos están sujetos a los ciclos agrícolas que va desde la siembra, pasando por la maduración de los productos

hasta la cosecha que es donde se considera el fin del ciclo, este ciclo a su vez se subdivide en periodos vegetativos y reproductivos dentro de los cuales podemos mencionar los siguientes:

Cultivos anuales o cíclicos: En este tipo de ciclo se consideran periodos menores a un año y dentro de este se subdivide en dos periodos productivos.

Otoño – invierno: este ciclo abarca los meses de octubre - marzo.

Primavera – verano: Este periodo abarca los meses de abril - septiembre

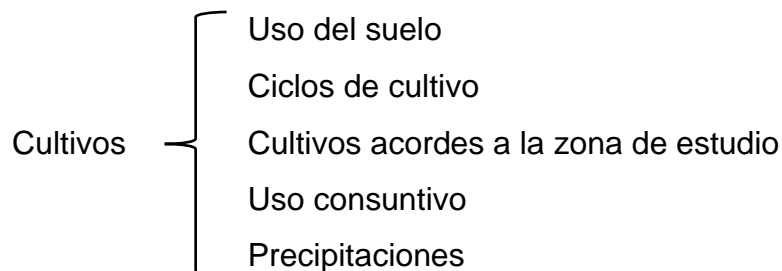
De forma muy general dentro de este ciclo el periodo de siembras permite la planificación de cultivo, es decir, que semillas serán sembradas de acuerdo a las condiciones del suelo y también a las condiciones climáticas que se presentarán durante su ciclo.

Cultivos perennes: En este tipo de cultivo se consideran los que son de periodos largos, es decir, los que su ciclo vegetativo va más allá de un año y que como una de sus características es que una vez que ya se sembró se obtienen varias cosechas de la misma planta.

Cultivos temporales: La siembra durante este ciclo se rigen principalmente por el comportamiento de las lluvias o de la humedad que pueda retener el suelo.

En la agricultura se requieren de diferentes factores para poder lograr el desarrollo óptimo de la producción como se muestran en el cuadro sinóptico 1 estos factores que intervienen se consideran en análisis posteriores para garantizar volúmenes de agua acordes a la zona de estudio.

Cuadro sinóptico 1. Factores de intervención en los cultivos



Demanda y consumo de agua en la agricultura

En la agricultura como ya se mencionó el agua juega un papel importante, pues una vez sembradas las semillas requieren de agua para poder desarrollarse en cada una de sus etapas, además de que la calidad de los productos depende mucho de los cuidados que se le den y de la cantidad de agua que se les proporcione.

Para poder garantizar que los cultivos tienen la cantidad de agua necesaria es posible recurrir a análisis en donde se identifica el tipo de cultivo y el área sobre la cual se planea la siembra. Conocer la cantidad de agua necesaria para riego implica realizar el análisis de los cultivos considerando las diferentes etapas que presentan. El consumo de agua corresponde a la evapotranspiración que se produce a través de las hojas además de la que se evapora directamente del suelo y la que constituyen el tejido de las plantas, que como ya se mencionó el volumen de agua varía de acuerdo a la etapa en la que se encuentra la planta, es importante mencionar que la producción agrícola depende de más factores además de la cantidad de agua necesaria por etapa, por ejemplo, la radiación solar, temperatura del aire, variedad del cultivo, fertilidad del suelo, método de riego, prácticas de cultivos, entre otros. Estos son factores que impactan sobre los cultivos y por lo tanto la calidad de la producción.

La metodología que se establece para la obtención de láminas de riego es a través del método de Blaney y Criddle, este método es usado en la determinación del uso consuntivo, se requiere para determinar la lámina de riego máxima y mínima en cada uno de los meses del año considerando el tipo de cultivo.

El uso consuntivo es la cantidad de agua que usan las plantas para producirse económicamente y se constituye del agua que transpira la planta a través de las hojas, el agua que se evapora del suelo y el agua que constituye la planta, dentro de los factores que determinan la cantidad de agua a suministrarse están el clima (donde influye la temperatura, humedad, vientos, latitud, luminosidad y precipitación), el tipo de cultivo (especie, ciclo vegetativo) y el suelo (textura, estructura y capacidad de retención de agua).

Evapotranspiración potencial

Para el cálculo de las necesidades teóricas del agua se seleccionan las áreas de regadío y los tipos de cultivos que se planean para la zona, además de considerar los ciclos vegetativos de los cultivos seleccionados y las fechas de siembra en cada ciclo, a lo largo del tiempo se han establecido métodos que como bien se conoce ninguno obtiene datos exactos, sin embargo a través del método de Blaney- Criddle, un método indirecto que usa factores como la temperatura media mensual y la cantidad de luz, que son datos que se encuentran generalmente en las estaciones climatológicas para las diferentes latitudes que se registran en cada una de ellas se obtienen resultados muy próximos para calcular el valor de la evapotranspiración de los cultivos. Una vez mencionados los factores que impactan sobre el método seleccionado, debe enfatizarse que los parámetros de temperatura y precipitaciones deberán obtenerse de la estación más cercana a la zona de interés, la información puede obtenerse a través del sistema meteorológico nacional con datos de la red de estaciones climatológicas a lo largo del país.

El procedimiento para el desarrollo del método de Blaney – Criddle se muestra a continuación.

Para poder llevar a cabo la metodología en primer lugar deberán seleccionarse los cultivos que se consideran para el estudio, en este caso se seleccionaran cultivos que sean comunes en la zona.

Se seleccionan cultivos de maíz, frijol y hortalizas ya que de acuerdo a la SAGARPA en el anuario estadístico considerando información del año 2020 se tiene que la producción en el municipio de Los Reyes de Juárez está conformada principalmente de estos grupos (Tabla 1).

Tabla 1. Cultivos producidos en el municipio de Los Reyes de Juárez Fuente: Anuario estadístico SAGARPA

	Cultivo	Superficie			Producción	Rendimiento
		(ha)				(udm/ha)
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada		
1	Ajo	23.3	23.3	0	281.95	12.1
2	Alfalfa	60	60	0	4,230.00	70.5
3	Brócoli	182	182	0	3,161.10	17.37
4	Cebolla	109	109	0	1,283.30	11.77
5	Chile verde	45	45	0	282.6	6.28
6	Coliflor	88	88	0	1,546.80	17.58
7	Durazno	5	5	0	32.07	6.41
8	Frijol	175.8	141.8	0	116.09	0.82
9	Lechuga	244	244	0	5,681.80	23.29
10	Maíz grano	342	319	0	741.4	2.32
11	Tomate rojo (jitomate)	0.9	0.9	0	135	150
12	Tomate verde	45	45	0	641.2	14.25
13	Zanahoria	143	143	0	4,651.90	32.53
Total		1,463.00	1,406.00	0		

Año agrícola: 2020
Producción agrícola
Ciclo: Cíclicos - perennes

Entidad federativa: Puebla
Modalidad: Riego + temporal
Municipio: Los Reyes de Juárez
Situación al 31 de diciembre de 2020

Además, deberán considerarse ciclos de cultivo para los que se seleccionaron.

Para el método de Blaney y Criddle se usa la siguiente expresión

Ecuación 1. Evapotranspiración potencial mensual. Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

$$ETP = K_g F$$

Donde ETP, que es la evapotranspiración potencial mensual, en cm. K_g , es el coeficiente global de desarrollo, el valor varía de acuerdo al tipo de cultivo y F es un factor de temperatura y luminosidad de acuerdo a la zona de estudio.

Para iniciar con el cálculo de la lámina de riego primero se deberá de obtener datos de la estación climatológica más cercana al sitio para obtener valores de latitud y longitud, temperaturas de los meses y precipitaciones ya que se utilizarán más adelante en el cálculo.

Una vez considerando los tipos de cultivo para el análisis se selecciona el valor de K_g , valor del coeficiente global de desarrollo se obtiene a través de la tabla 2 y en el caso donde los cultivos cuentan con un rango de valores se deberá tomar el valor más bajo para las épocas de frío y el valor más alto para las épocas de calor, para tal efecto se considera mayo, junio, julio, agosto y septiembre como los meses calurosos.

En la ecuación 1 hace alusión a un factor F que relaciona la temperatura y la luminosidad del lugar de análisis, el cual se determina a través de la siguiente fórmula

Ecuación 2. Factor de temperatura y luminosidad Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

$$F = P \left(\frac{T + 17.8}{21.8} \right)$$

De la fórmula anterior el valor de P es el porcentaje de horas de sol de cada mes con respecto al año, el valor se considera de acuerdo a la tabla 6 y T es la temperatura media mensual del aire en °C.

La metodología para calcular el valor de ETP consiste en seleccionar los ciclos de los cultivos seleccionados, una vez definidos se deben dar los valores de temperatura media y precipitación media para cada mes del año considerando datos de la estación meteorológica más cercana al sitio de estudio que en este caso es la estación de Acatzingo de Hidalgo (21005), de la estación de Acatzingo también se extrae el valor de la latitud y así el método de Blaney – Criddle se usa para calcular el valor de ETP de cada mes de año, cabe mencionar que en la ecuación 2, el valor de P se interpola de acuerdo a la latitud y el mes del año que se esté considerando. Una vez obtenido los valores de ETP de cada mes se realiza el acumulado de los cultivos que se encuentren en cada mes.

Tabla 2. Coeficiente global de desarrollo

Cultivo	Ciclo vegetativo	Coeficiente global (K_G)
Aguacate	Perenne	0.50 - 0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.80
Alfalfa	Entre heladas	0.80 - 0.85
	en invierno	0.60
Algodón	6 a 7 meses	0.60 - 0.65
Arroz	3 a 5 meses	1.00 - 1.20
Cacahuete	5 meses	0.60 - 0.65
Cacao	Perenne	0.75 - 0.80
Café	Perenne	0.75 - 0.80
Camote	5 a 6 meses	60
Caña de azúcar	Perenne	0.75 - 0.90
Cártamo	5 a 8 meses	0.55 - 0.65
Cereales de grano pequeño (alpiste, avena, cebada, centeno, trigo)	3 a 6 meses	0.75 - 0.85
Cítricos	7 a 8 meses	0.50 - 0.65
chile	3 a 4 meses	0.60
Esparrago	6 a 7 meses	0.60
Fresa	Perenne	0.45 - 0.60
Frijol	3 a 4 meses	0.60 - 0.70
Frutales de hueso y pepita (hoja caduca)	Entre heladas	0.60 - 0.70
Garbanzo	4 a 5 meses	0.60 - 0.70
Girasol	4 meses	0.50 - 0.65
Gladiola	3 a 4 meses	0.60
Haba	4 a 5 meses	0.60 - 0.70
Hortalizas	2 a 4 meses	0.60
Jitomate	4 meses	0.70
Lechuga y col	3 meses	0.70
Lenteja	4 meses	0.60 - 0.70
Maíz	4 meses	0.60 - 0.70
Maíz	4 a 7 meses	0.75 - 0.85
Mango	Perenne	0.75 - 0.80
Melón	3 a 4 meses	0.60
Nogal	Entre heladas	0.70
Papa	3 a 5 meses	0.65 - 0.75
Palma datilera	Perenne	0.65 - 0.80
Palma cocotera	Perenne	0.80 - 0.90
Papaya	Perenne	0.60 - 0.80
Plátano	Perenne	0.80 - 1.00
Pastos de gramíneas	Perenne	0.75

Remolacha	6 meses	0.65 - 0.75
Sandía	3 a 4 meses	0.60
Sorgo	3 a 5 meses	0.70
Soya	3 a 5 meses	0.60 - 0.70
Tabaco	4 a 5 meses	0.70 - 0.80
Tomate	4 a 5 meses	0.70 - 0.80
Zanahoria	2 a 4 meses	0.60

Coeficiente unitario de riego (C.U.R)

Para la determinación del coeficiente unitario de riego es necesario conocer el valor de ETP en cada mes de acuerdo a lo anterior descrito, una vez que se obtiene ETP se continua con el cálculo de la altura de la precipitación efectiva (l_{LL}), se multiplica la altura de la lluvia de cada mes que se obtuvo de la estación climatológica (h_{LL}) por coeficientes de infiltración (K_I) y por el coeficiente de aprovechamiento en la zona radicular (K_R). Lo anterior descrito se expresa con la siguiente fórmula.

Ecuación 3. Altura de precipitación efectiva. Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

$$l_{LL} = h_{LL} \times K_I \times K_R$$

Los valores de coeficiente infiltración (K_I) se obtienen con la ecuación 4.

Ecuación 4. Coeficiente de infiltración Fuente: Escuela Centroamericana de Geología.

$$K_i = K_p + K_v + K_{fc}$$

Donde el valore de K_p es la fracción que se infiltra por efecto de pendiente, K_v es la fracción que se infiltra por efecto de cobertura vegetal y K_{fc} es la fracción que se infiltra por textura del suelo.

Este último factor se puede determinar por la ecuación que se presenta a continuación.

Ecuación 5. Valor de K_{fc} . Fuente: Escuela Centroamericana de Geología

$$K_{fc} = 0.267 \ln(fc) - 0.000154fc - 0.723$$

Donde el valor de fc es el valor de la infiltración básica que se tienen de acuerdo al tipo de suelo, para calcular este parámetro se presenta la tabla 3 donde se tiene el valor de la infiltración básica en (mm/h) y en la ecuación 5 se considera en (mm/día) así que deberá realizarse la conversión correspondiente.

Mientras que para los valores de K_v y K_p se presentan valores en la tabla 4.

Tabla 3. Propiedades físicas de los suelos Fuente: FAO

Resumen de las propiedades físicas de los suelos			
Textura del suelo	Densidad aparente	Capacidad de campo (% Θ g)	Infiltración básica (mm/h)
	(g/cm ³)		
Arenoso	1.65 (1.55-1.90)	9 (6-12)	50 (25-250)
Franco arenoso	1.5 (1.40-1.60)	14 (10-18)	25 (13-75)
Franco	1.4 (1.35-1.50)	22 (18-26)	13 (8-20)
Franco arcilloso	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	8 (2.5-15)
Arcilloso	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	5 (1.3-10)

Tabla 4. Valores de K_p y K_v propuestos. Fuente: Escuela Centroamericana de Geología.

Valores propuestos para valores de K_p y K_v		
Por pendiente:		K_p
Muy plana	0.02% - 0.06 %	0.3
Plana	0.3% - 0.4 %	0.2
Algo plana	1%- 2%	0.15
Promedio	2% - 7%	0.1
Fuerte	Mayor a 7%	0.06
Por cobertura vegetal		K_v
Cobertura de zacate menos de 50%		0.09
Terrenos cultivados		0.1
Cobertura con pastizal		0.18
Bosques		0.21

Una vez definido el coeficiente de infiltración necesario en la ecuación 4 ahora se continua con el coeficiente de aprovechamiento de la zona radicular para esto nos

apoyaremos de la tabla 5, en donde se presenta ese valor para los cultivos más comunes.

Tabla 5. Fracción de agotamiento de la humedad en el suelo. Fuente: Estudio FAO riego y drenaje

Cultivo	Profundidad radicular máxima (m)	Fracción de agotamiento p
Hortalizas		
Brócoli	0.4 – 0.6	0.45
Col de Bruselas	0.4- 0.6	0.45
Zanahorias	0.5 – 1.0	0.35
Coliflor	0.4 – 0.7	0.45
Lechuga	0.3 – 0.5	0.3
Cebolla	0.3 -0.6	0.35
Espinaca	0.3 -0.5	0.2
Calabaza	1.0 – 1.5	0.35
Raíces y tubérculos		
Papa	0.4 – 0.6	0.35
Camote	1.0 – 1.5	0.65
Leguminosa		
Frijoles	0.6 – 0.9	0.45
Garbanzo	0.5 – 0.7	0.5
haba	0.5 – 0.7	0.45
Cereales		
Cebada	1.0 – 1.5	0.55
Avena	1.0 -1.5	0.55
Maíz	0.8 – 1.2	0.5

Una vez obtenido el valor de l_{LL} se continua con la obtención de la lamina de riego neta con la siguiente expresión:

Ecuación 6. Lámina de riego neta Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

$$l_{R \text{ neta}} = ETP - l_{LL \text{ efectiva}}$$

Tabla 6. Porcentaje de horas de sol del mes con respecto al año. Fuente: Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo

LATITUD NORTE (°)	MES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07	8.30
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.83	8.28	8.20	7.75	7.88
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.07	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
21	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	7.40	7.42
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.31
27	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
29	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	8.67	9.22	8.33	8.00	7.19	7.15
31	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32	7.20	6.97	8.37	8.76	9.62	9.59	9.77	9.27	8.34	7.95	7.11	7.05
33	7.15	6.94	8.36	8.78	9.68	9.65	9.82	9.31	8.35	7.94	7.07	6.98
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
35	7.05	6.88	8.35	8.83	9.77	9.76	9.94	9.37	8.37	7.88	6.97	6.85
36	6.99	6.85	8.35	8.85	9.82	9.82	9.09	9.40	8.37	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.80	6.82	6.66
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	7.52
42	6.63	6.65	8.31	9.00	10.14	10.22	10.35	9.62	8.40	7.69	6.62	6.37
44	6.49	6.58	8.30	9.06	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.21
46	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
48	6.17	6.41	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.23	5.86
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.90	10.00	8.46	7.45	6.10	5.65
52	5.77	6.19	8.21	9.29	10.85	11.13	11.20	10.12	8.49	7.39	5.93	5.43
54	5.55	6.08	8.18	9.36	11.03	11.38	11.43	10.26	8.51	7.30	5.74	5.18
56	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69	10.40	8.52	7.21	5.54	4.89
58	5.01	5.81	8.12	9.55	11.46	12.00	11.98	10.55	8.51	7.10	4.31	4.56
60	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.51	6.98	5.04	4.22

Donde ETP se obtendrá con ayuda de la ecuación 1, para cada mes y cultivo de acuerdo al método de Blaney - Criddle y con el valor de $l_{LL\text{ efectiva}}$, las unidades que se usarán serán en mm.

Una vez que se calculó el valor para la lámina de riego neta ($l_{R\text{ neta}}$) se obtendrán valores de la lámina de riego bruta, esta se obtiene del cociente de la lámina de riego neta y el producto de los porcentajes de eficiencia en el sistema de riego (η_R). Lo antes descrito se expresa en la siguiente fórmula.

Ecuación 7. Lámina de riego bruta Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

$$l_{R\text{ bruta}} = \frac{l_{R\text{ neta}}}{\eta_R}$$

Se considera que los valores de la eficiencia del sistema relativo al manejo y aplicación de riego se consideran como en la tabla 7.

Tabla 7. Eficiencia del sistema relativo al manejo y aplicación de riego Fuente: FAO

Sistema de riego	Parcelaria (η_R)
Aspersión	75%
Goteo	90%
Superficie	50%

También se deben de determinar las áreas de cultivo para cada tipo de cultivo seleccionado dado que están influyendo sobre el cálculo.

Con los valores de lámina de riego bruta y realizando la sumatoria de cada mes y considerando los cultivos que presenten consumo en ese mismo, se determina que mes es el más desfavorable y este será el de mayor valor numérico.

Como ya se determinó el valor para la lámina de riego bruta se obtiene el valor de lámina de riego bruta diaria ($l_{R\text{ bruta}}(\text{diaria})$) y este valor se obtiene dividiendo el valor de la lámina de riego bruta ($l_{R\text{ bruta}}$) entre los días que tiene cada mes del año, el valor obtenido de cada mes para cada tipo de cultivo de la lámina de riego bruta diaria ($l_{R\text{ bruta}}(\text{diaria})$).

Para calcular el volumen demandado se debe de multiplicar la lámina de riego bruta diaria ($l_{R\text{ bruta}}$ (diaria)) por la superficie de cultivo, este paso se debe aplicar en cada cultivo seleccionado,

Se continua con la obtención del coeficiente unitario de riego (C.U.R.) con la aplicación de la siguiente formula.

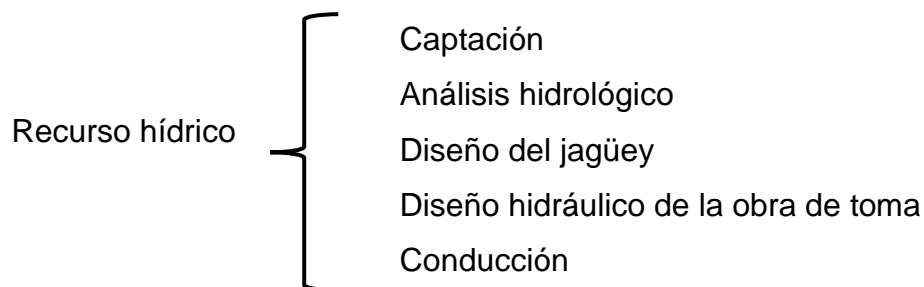
Ecuación 8, Calculo de C.U.R. Fuente: Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo

$$qu = \frac{\text{Volumen acumulado}}{\text{Superficie acumulada}}$$

Como ya se mencionó anteriormente, los cultivos requieren de determinada cantidad de agua para poder generar productos de calidad, es por eso que a través de distintos análisis y cálculos se puede determinar la cantidad de agua que puede aportar una zona a través de las cuencas hidrológicas

En sí, en el recurso hídrico intervienen varios factores que se deben de considerar para lograr un mejor aprovechamiento como se muestra en el cuadro sinóptico 3.

Cuadro sinóptico 2. Factores de intervención en análisis del recurso hídrico.



En esta sección también se presenta el formato que servirá de base para el cálculo del uso consuntivo en las tablas 8, 9, 10 y 11

Como primer aspecto a considerar una vez que ya se eligió hacer uso de recolección de agua de precipitaciones, en este caso para la comunidad de Benito Juárez así se estableció, se mencionarán los diferentes tipos de captación que existen.

Para el abastecimiento de agua en las parcelas de cultivo se plantea un sistema de riego que a su vez necesitara un método de captación y esta se define a continuación.

Captación

La captación a través de cuerpos de agua superficiales generalmente tiene como finalidad proveer de un caudal de forma continua al lugar donde se requiere, la importancia de la captación reside en que es el inicio del sistema para abastecerla, por lo tanto, para dimensionar las obras se debe realizar a partir de análisis que puedan justificar las obras.

En México una de las fuentes que se han utilizado con mayor frecuencia a lo largo de los años, son las precipitaciones y por lo tanto se diseñan obras que la recolecten en las temporadas de lluvia y la almacenen para ser utilizada posteriormente en las zonas de estiaje.

Un mal diseño de la obra de captación lograría que se genere en déficit en el suministro en cambio sí se realiza un sobre dimensionamiento encarece el costo del sistema que se desee implementar.

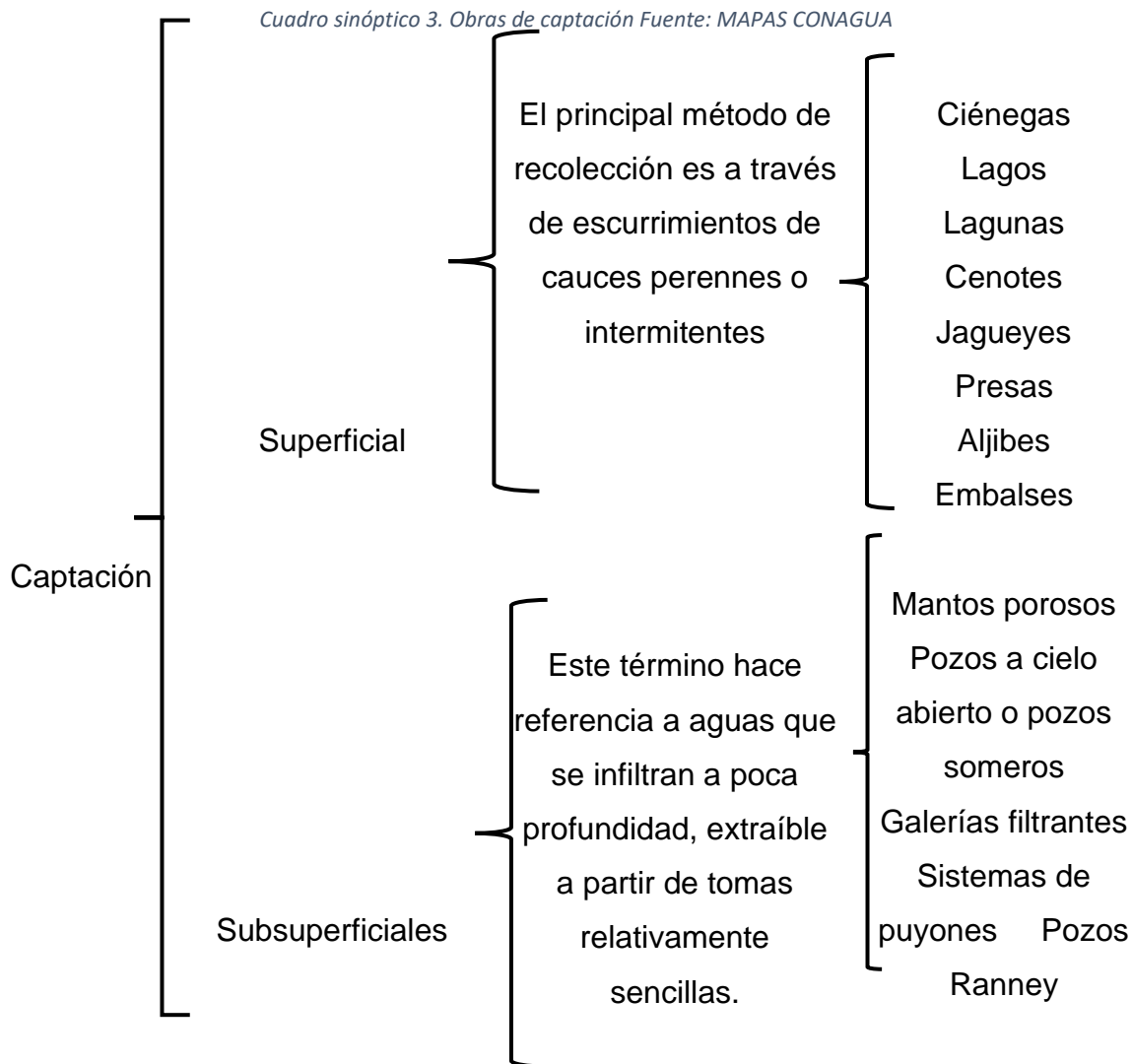
Es importante establecer puntos de almacenamiento para las regiones, dado que el agua es necesaria para diferentes usos ya sea desde un uso doméstico, hasta incluso ser usada en agricultura y ganadería.

En caso de ser usada para el uso doméstico se deben considerar procesos secundarios que garanticen la calidad del agua.

Las obras de captación se dependen en gran medida de las precipitaciones que se tengan precipitaciones considerables durante la época de lluvias.

La captación de aguas se divide a grandes rasgos en dos grandes grupos como los que se muestran en el cuadro sinóptico 3. Obras de captación.

Como ya se había mencionado el dimensionamiento de las obras depende de los análisis que se realicen para poder conocer los caudales que se generan a través de las precipitaciones, la forma en la que se analizan estas precipitaciones es con un análisis hidrológico.



En el caso de estudio se plantea que el agua sea captada a través de un jagüey y que este a su vez se alimente de agua proveniente de escurrimientos originados de las precipitaciones, por lo que el papel del ciclo hidrológico se ve involucrado y se describe a continuación.

Ciclo hidrológico

El agua tiene un ciclo natural mediante el cual el agua se traslada en la hidrosfera a sus diferentes estados físicos que son sólido, líquido y gaseoso. Este es un ciclo permanente, la mayor parte del agua se encuentra en estado líquido en los mares y océanos, pero también se encuentra en menores cantidades en la corteza terrestre en depósitos subterráneos o de forma superficial.

La recarga de estos depósitos naturales surge con una ayuda de la radiación que permite que en agua de los océanos en estado líquido pase a otra fase y se evapore

formando nubes, una vez aquí estas nubes con ayuda de vientos se enfrían para que así el vapor se condense y formen gotas que posteriormente se precipitará, una vez en la superficie parte de esta agua será captada y aprovechada por los seres vivos mientras que otra parte se infiltrará hasta llegar a depósitos subterráneos.

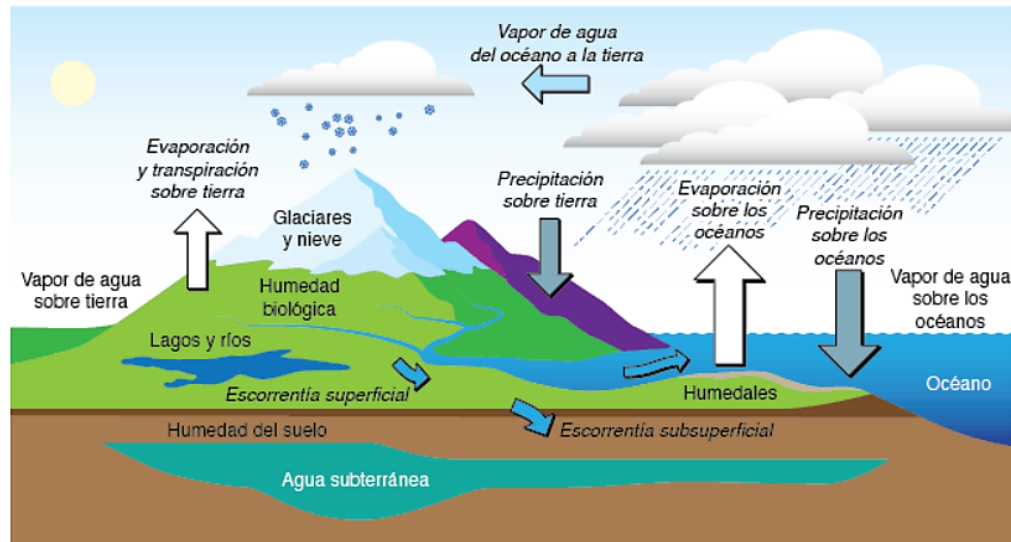


Ilustración 1. Ciclo hidrológico Fuente: Los procesos del ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio indefinido y permanente los principales factores que intervienen en el ciclo son la energía solar y la gravedad que esta es la encargada de hacer que el agua una vez condensada en las nubes se precipite hacia la superficie.

La precipitación constituye una entrada principal al sistema hidrológico que es el que permite que los ríos mantengan un cauce permanente, en el mejor de los casos, para así alimentar a los lagos que estos a su vez alimentan a los mantos acuíferos que posteriormente serán aprovechados por el hombre para diferentes fines como son en el uso doméstico, la agricultura o la ganadería empleando distintos métodos de captación.

Disponibilidad del recurso hídrico

Como en la comunidad de Benito Juárez se pretende el diseño de un jaguey, se opta por realizar el análisis hidrológico para determinar los volúmenes que puede aportar una cuenca en la zona de estudio, las cuencas son áreas que contribuyen

a un escurrimiento directo y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal a sus tributarios.

Las cuencas están delimitadas por líneas imaginarias denominadas parteaguas, que son puntos topográficos de mayor nivel y que es el que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

Para poder medir las variantes que se consideran para una cuenca, se toman datos de estaciones climatológicas, estas miden, por ejemplo, temperatura, precipitación, evaporación, entre otros. La información proveniente de las estaciones resulta relevante para la planeación de estudios hidrológicos y se puede obtener datos a través del Sistema Meteorológico Nacional, que es administrado por la CONAGUA, cuenta con una amplia red de estaciones climatológicas a lo largo del país.

La información obtenida de las estaciones tiene la finalidad de obtener estos datos es para poder realizar análisis probabilísticos con aplicabilidad hidrológica para series anuales de caudales a través de las siguientes funciones principales.

- **Distribución normal estándar**

Ecuación 9. Distribución normal estándar. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Donde:

X; variable aleatoria

μ ; Media de la población

σ ; Desviación estándar de la población

- **Distribución logarítmico-normal**

Ecuación 10. Obtención parámetro alfa de ecuación 3 Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$$

Ecuación 11. Distribución logaritmo-normal Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

$$\beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$$

- **Distribución Pearson III**

Ecuación 12. Parámetros para distribución de Pearson III Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

$$\alpha = \frac{s}{\sqrt{\beta}}; \beta = \left(\frac{2}{\gamma}\right)^2; \delta = \bar{x} - \alpha\beta$$

Donde el sesgo se define como:

Ecuación 13. Ecuación para obtención de sesgo. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3 / n}{s^3}, \text{ para finalmente obtener}$$

Ecuación 14. Ecuación Distribución Pearson III Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

$$x = y\alpha + \delta$$

- **Distribución de Gumbel, siendo:**

Ecuación 15. Parámetros de Distribución de Gumbel. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

$$\beta = \alpha(x - u); \quad \alpha = \sigma_y / S_x; \quad u = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

donde;

\bar{x} ; media aritmética de la muestra

S_x ; Desviación típica de la muestra

σ_y, μ_y ; Consultar tabla 12, según número de datos de la muestra, los valores son respectivamente, la media y la desviación típica de una serie de valores que dependen solamente del número de datos.

Donde finalmente despejando el valor de x en la ecuación 15 se tiene:

Ecuación 16. Distribución de Gumbel. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

$$x = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) + \mu$$

Con la aplicación de las fórmulas anteriores a la información de las estaciones climatológicas se obtendrán resultados de precipitaciones en función de los periodos de retorno.

Tabla 12. Valores de μ_y y σ_y relacionados al número de datos. Fuente: ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE

No. de datos	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.56	1.2065

La fórmula para aplicar el periodo de retorno es la siguiente:

Ecuación 17. Periodo de retorno y probabilidad. Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial.

$$Tr = \frac{n+1}{m}, P = \frac{m}{n+1}$$

Donde:

Tr; periodo de retorno en años

n; Número de datos

m; Número secuencial por orden de magnitud en listado de eventos

P; Probabilidad

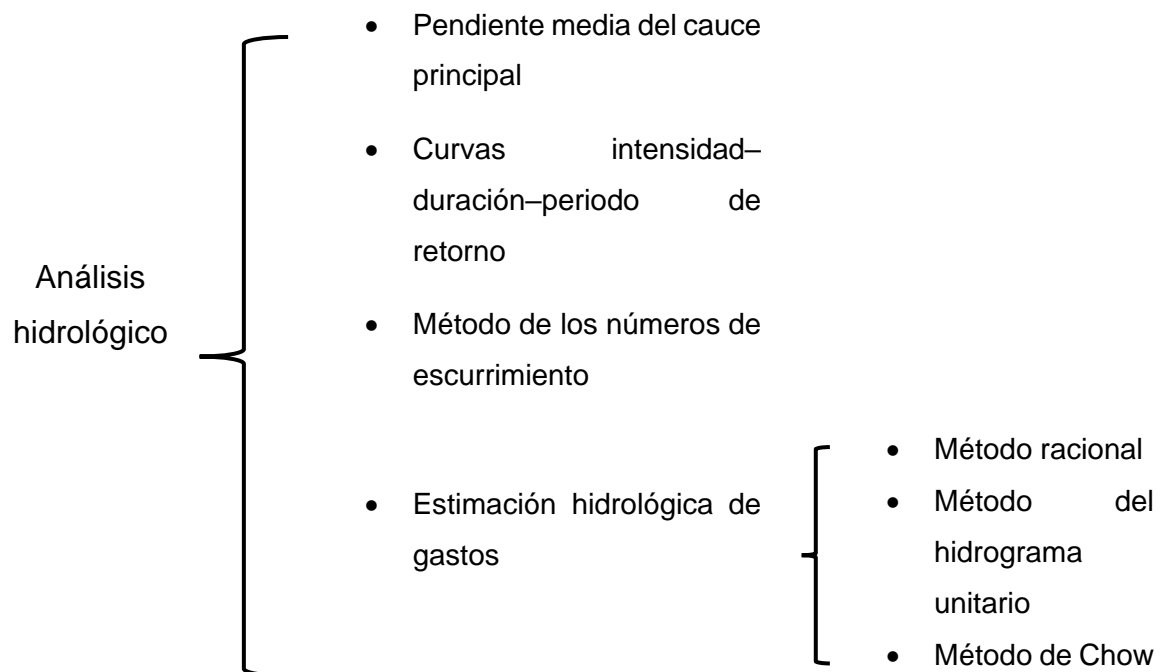
Las estaciones que se analizarán deberán tener cercanía con la zona de estudio y para este caso se tomarán datos de las estaciones de Tepeaca, Vista Hermosa, Acajete y Acatzingo.

Como ya se mencionó, la información de los datos crudos se obtendrá a través del sistema meteorológico nacional y a través de la ayuda de un software se determinarán las áreas de influencia de cada estación sobre la cuenca.

Ya obtenidos los resultados de las estaciones climatológicas se continua con parámetros físicos y de red de la cuenca, dentro de los primeros parámetros que se obtendrán serán el área, que con apoyo de cartas topográficas obtenidas del INEGI se trazará el parteaguas y se obtendrán datos del área perímetro y longitud del cauce principal con la ayuda de un software.

Otros parámetros importantes que influirán sobre el análisis se presentan en el siguiente cuadro sinóptico.

Cuadro sinóptico 4. Análisis hidrológico Fuente: Propia



Cada uno de los factores antes mencionados se desglosarán particularmente a continuación.

Pendiente media del cauce principal

Dentro de los métodos que se consideran para el cálculo de la pendiente media será por el método de desnivel/longitud y el método de Taylor - Schwarz.

En el primer método se toma la cota o elevación del inicio del cauce principal y se le resta a la del final para dividir esta diferencia entre su longitud media. Donde la fórmula es la siguiente:

Ecuación 18. Pendiente media por el método de desnivel/longitud. Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial.

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

S; Pendiente del cauce principal %

H; Desnivel entre los extremos del cauce (m)

L; Longitud del cauce principal (m)

Para el método de Taylor – Schwarz la ecuación es la siguiente:

Ecuación 19. Pendiente media método Taylor-Schwarz. Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial.

$$S = \left(\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right)^2$$

S; Pendiente del cauce principal

s_n ; Pendiente tramo de n-1 a n

n; Número de tramos

l_n ; Longitud tramo n-1 a n

L; Longitud total del cauce principal

Dentro de los datos que también son necesarios conocer sobre la cuenca se tiene el tiempo de concentración, este indica el tiempo mínimo que necesita para que los puntos de la cuenca estén aportando agua de lluvia de forma simultánea a la sección de salida, la ecuación que se empleará para la obtención de este dato, será la establecida por Kirpich.

Ecuación 20. Tiempo de concentración fórmula Kirpich. Fuente: ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES

$$T_c = 0.000323 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Donde;

Tc es el tiempo de concentración en horas; L la longitud del cauce principal de la cuenca en metros; s es la pendiente del cauce principal.

Curvas intensidad-duración-periodo de retorno

Las estimaciones de las intensidades de lluvia de diseño se obtendrán con ayuda de la construcción de curvas intensidad-duración-frecuencia, se intenta reproducir la relación lluvia-escurrimiento y representan las características de las tormentas de la zona, seleccionando los periodos de retorno que tendrán el gasto máximo, las intensidades de lluvia son promedios factibles de acuerdo al periodo de retorno seleccionado (T_r) y con una duración que será igual al tiempo de concentración calculado (T_c). Las curvas se pueden obtener con métodos probabilísticos y se define mediante tres variables que son la magnitud, que es la altura total de la lluvia ocurrida en milímetros, la duración es el periodo en el cual un evento de lluvia ocurre y la frecuencia se considera por lo general por su periodo de ocurrencia. Las curvas i-d- T_r se utilizan en el diseño de sistemas de drenaje incluso el agrícola y en el diseño de estructuras como lo son presas, alcantarillas y puentes, entre otros.

Para obtener datos de registros de precipitaciones máximas ocurridas en el lugar de interés se ajusta la ecuación de Bell. Los registros de precipitaciones como ya se había mencionado anteriormente se obtuvieron de estaciones climatológicas de la red nacional de la Conagua.

El procesamiento de la información es a través de duraciones en intervalos estándar, los cuales se consideran para este estudio de 5, 10, 20, 40, 60, 100 y 120 minutos, esta información servirá para formar tabulaciones de los años analizados, en este caso los años analizados serán los periodos de retorno que serán de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 y 10000 años para obtener las predicciones que tendrán las curvas I-D- T_r . La fórmula de Bell permite estimar la altura de lluvia para las duraciones y periodos de retorno ya mencionados con anterioridad.

La ecuación es la siguiente:

Ecuación 21. Ecuación de Bell Fuente: Ecuaciones ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración

$$P_T^t = (0.35 \ln T + 0.76)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_2^{60}$$

La ecuación es válida para 2 años $\leq T \leq$ 100 años y 5 minutos $\leq t \leq$ 120 minutos

Donde

P_T^t es la precipitación en mm para una duración de t minutos y periodo de retorno de T años

P_2^{60} es la precipitación en mm para una duración de 60 minutos y periodo de retorno de 2 años

t es la duración de la lluvia entre 5 y 120 minutos

T es el periodo de retorno en años

Se debe considerar el cálculo para un t obtenido de la ecuación de Kirpich

Método de los números de escurrimiento

Dentro de la cuenca un parámetro que también influye sobre el comportamiento hidráulico es la capacidad de infiltración que tiene el subsuelo. En el escurrimiento parte del agua se desplaza de forma lateral sobre la superficie mientras que otra se introducirá en el terreno. Las características que se presenta el medio (que puede ir desde un medio poroso o hasta roca) influyen sobre las aportaciones que tendrá sobre el cauce principal, es por eso que se deben de considerar los diferentes tipos de suelo que podrían presentarse.

Para determinar la capacidad de infiltración de una cuenca se pueden aplicar métodos empíricos, en su mayoría la aplicación de este tipo de metodologías se debe a que la cuenca no cuenta con registros de aforo, pero si cuentan con registros de lluvias totales.

El servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos de América propone un método que se denomina “*Método de los números de escurrimiento*” este método se obtiene a partir de las lluvias totales y de las características que se presenta la cuenca. Se relacionan la altura de lluvia total (P) en cm, con la lluvia efectiva (P_e) en cm, con la siguiente fórmula:

Ecuación 22. Precipitación efectiva. Fuente: Principios y fundamentos de la Hidrología superficial

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]}{P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

El parámetro **N** se relaciona con el uso, tipo y composición del suelo, pendiente y estado de humedad. En la tabla 13 se muestra una clasificación general de la clasificación de suelos.

Tabla 13. Tipos de suelos Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial

Tipo de suelo	Características
Tipo A	Arenas con poco limo y Arcilla de tamaño medio (escurrimiento mínimo)
Tipo B	Arenas finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de ambos.
Tipo C	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla
Tipo D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)

Como es de esperarse una cuenca presentará diferentes tipos de suelos así que se deberá considerar como influye cada uso de suelo y la pendiente, con ayuda de la tabla 15, 16, 17 y 18 con la fórmula 23 se obtendrá el valor de N.

Ecuación 23. Valor de N Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial.

$$N = \frac{(N_1A_1 + N_2A_2 + \dots + N_nA_n)}{A_c}$$

Una vez realizado el cálculo el resultado debe de afectarse por un factor de corrección usando la Tabla 14, según la lluvia antecedente.

Tabla 14. Factor de corrección del número de escurrimiento N, según la precipitación antecedente Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial.

N	Corrección A	Corrección B
10	0.40	2.22
20	0.45	1.85
30	0.50	1.67
40	0.55	1.50
50	0.62	1.40
60	0.67	1.30
70	0.73	1.21
80	0.79	1.14
90	0.87	1.07
100	1.00	1.00
Si 5 días antes hubo lluvia	Menor de 2.5cm; Entre 2.5 y 5 cm; Mayor de 2.5 cm;	Corrección A Sin corrección Corrección B

Estimación hidrológica de gastos

La determinación hidrológica de crecientes en cuencas sirve de base para los dimensionamientos en general de todas las obras hidráulicas, la confiabilidad radica en realizar estimaciones con ajustes de modelos probabilísticos en donde a base de registros de lluvia con análisis previos se transforma la lluvia en escurrimiento, los factores que intervienen son el clima, el uso de suelo, la pendiente.

Los métodos presentados a continuación implican métodos empíricos en donde influye las características fisiográficas de la cuenca y datos de precipitación, el uso de estos implica que únicamente se proporcionaran gastos máximos o pico, también se abordará un método de hidrograma unitario en donde se consideran factores de registros de lluvias además de escurrimientos.

Tabla 15. Valor del número de escurrimiento N según uso y tipo de suelo Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento

Uso del suelo o cobertura	Número de curva, para el grupo hidrológico de suelo			
	A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida). Césped, espacios abiertos, parques, campos de golf, panteones, etc.	-----	-----	-----	-----
· Buena condición; cubierta de pasto el 75% o más del área.	39	61	74	80
· Condición regular; cubierta de pasto de 50 al 75% del área	49	69	79	84
· Mala condición; cubierta de pasto menos del 50% del área	68	79	86	89
Lotes de estacionamiento pavimentados, techados, entrada de autos, etc.	98	98	98	98
Calles y caminos:	-----	-----	-----	-----
· Pavimentados con banquetas y drenaje de aguas pluviales	98	98	98	98
· De grava	76	85	89	91
· De terracería	72	82	87	89
· Pavimentados en cunetas	83	89	92	93
Áreas comerciales y de negocios (85%)	89	92	94	95
Zonas industriales (72%)	81	88	91	93
Rancherías, pueblos y zonas urbanas (65%) Con lotes de 500 m ² o menos	77	85	90	92
Residencial: Tamaño promedio del lote:				
1000 m ² (38%)	61	75	83	87
1300 m ² (30%)	57	72	81	86
2000 m ² (25%)	54	70	80	85
4000 m ² (20%)	51	68	79	84
8000 m ² (12%)	46	65	77	82
Áreas urbanas en desarrollo (vegetación no establecida)	77	86	91	94

Tabla 16. Continuación de la tabla 14

Uso de suelo o cobertura vegetal			Número de curva, para el grupo hidrológico de suelo			
Uso del suelo	Práctica de tratamiento	Condición hidrológica	A	B	C	D
Suelo agrícola cultivado:						
· Siembra densa, leguminosas o praderas con rotación.	-Hileras en línea recta	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	-Cultivo de conservación -En contorno	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
		Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80
· Hierba o pasto	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
-----	En contorno	Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
· Praderas	-----	-----	30	58	71	78
· Áreas forestales, pastos o huertos, perennes o caducifolios	-----	Mala	55	73	82	86
		Regular	44	65	76	82
		Buena	32	58	72	79
· Matorral, maleza	-----	Mala	48	67	77	83
		Buena	20	48	65	73
· Bosques	-----	Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
· Granjas	-----		59	74	82	86
· Forestal Pasto, Herbáceas	-----	Mala		79	86	92
		Regular	-----	71	80	89
		Buena		61	74	84
· Robles álamos	-----	Mala		65	74	
		Regular	-----	47	57	-----
		Buena		30	41	
· Enebro pasto	-----	Mala		72	83	
		Regular	-----	58	73	-----
		Buena		41	61	

Tabla 17. Continuación de la tabla 14

Uso de suelo o cobertura vegetal			Número de curva, para el grupo hidrológico de suelo			
Uso de suelo	Práctica de tratamiento	Condición hidrológica	A	B	C	D
Suelo agrícola cultivado						
· Barbechado	-Hileras rectas, cultivo de conservación		77	86	91	95
		Mala	76	85	90	93
		Buena	74	83	88	90
· Cultivos en hileras	-Hileras en línea recta -Cultivo en conservación	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	-En contorno de conservación	Mala	71	80	87	90
		Buena	64	75	82	85
	-En contorno y terrazas. -En contorno y terrazas, cultivo de conservación	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
		Mala	69	78	83	87
		Buena	64	74	81	85
		Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
		Mala	65	73	79	81
		Buena	61	70	77	80

Tabla 18. Continuación de la tabla 14

Uso de suelo o cobertura vegetal			Número de curva, para el grupo hidrológico de suelo			
Uso de suelo	Práctica de tratamiento	Condición hidrológica	A	B	C	D
-----	-En contorno	Mala	65	76	84	88
	-En contorno y cultivo.	Buena	63	75	83	87
	De conservación	Mala	64	75	83	86
	-En contorno y terrazas.	Buena	60	72	80	84
	-En contorno y terrazas, cultivo de conservación	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
		Mala	62	73	81	84
		Buena	60	72	80	83
		Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
		Mala	60	71	78	81
		Buena	58	69	77	80

Método racional

En este método se tiene que una intensidad de lluvia i comienza instantáneamente y continua indefinidamente, la cantidad de escurrimiento se incrementa hasta alcanzar el tiempo de concentración (T_c), hasta este punto toda la cuenca está contribuyendo al flujo en su salida, por lo tanto, la intensidad i igual al T_c del periodo de retorno seleccionado será el gasto máximo que se estima con la siguiente ecuación.

La fórmula para calcular el método racional es la siguiente:

Ecuación 24. Fórmula método racional Fuente: Introducción a la hidrología urbana

$$Q = 0.278 C i A$$

Donde;

Q; gasto (m^3/s)

0.278; constante de conversión de unidades

C; coeficiente de escurrimiento

A; Área de la cuenca (km²)

El método racional es una descripción muy simple del proceso de lluvia, en donde las características de la cuenca se consideran en el Tc y C, la infiltración y pérdidas no se consideran de manera real, sino indirectamente con el coeficiente C.

El método racional solo es aplicable en cuencas pequeñas.

Las magnitudes de intensidades de lluvia se obtienen de las curvas Intensidad-Duración- Frecuencia mencionadas con anterioridad seleccionando los periodos de retorno.

Método hidrograma unitario adimensional del servicio de conservación de suelos (SCS)

Este es un método desarrollado por el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos que propone usar el hidrograma unitario adimensional como el que se muestra en la gráfica1.

Se calculan las variables de gasto pico (q_p) y tiempo pico (t_p) con las siguientes expresiones

Ecuación 25.. Gasto pico Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial

$$q_p = 0.208 \frac{A}{t_p}$$

Donde q_p es un gasto pico con unidades en m³/s/mm, A es el área de la cuenca de análisis en km² y t_p es el tiempo pico en horas que se obtiene de la siguiente ecuación.

Ecuación 26. Tiempo pico. Fuente: Principio y fundamentos de hidrología superficial

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6t_c$$

En la ecuación 18. Tiempo pico, se establece que t_c es el tiempo de concentración en horas.

El hidrograma se define con una secuencia de pasos que se enumeran a continuación.

1. Usando la tabla de la gráfica 1. se seleccionan valores de t/t_p para obtener q/q_p
2. Una vez seccionado los valores de q/q_p y sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 24. Gasto pico, se despeja el valor de q
3. De igual manera como ya se seleccionó el valor de acuerdo a la tabla de la gráfica 1. para la relación de t/t_c , se sustituyen los valores correspondientes de la ecuación 25. Tiempo pico para despejar así el valor de t
4. Se repiten los pasos del 1 al 3 para obtener todos los valores de q y t que definirán la forma del diagrama unitario.
5. Los valores obtenidos de t se usarán como abscisas del hidrograma
6. Los valores obtenidos de q deberán multiplicarse por la lluvia efectiva (P_e) dada en mm para funcionar como ordenadas del hidrograma
7. Se repiten los pasos anteriores para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000, 10000 años.

Para cada periodo de retorno se seleccionan los gastos máximos.

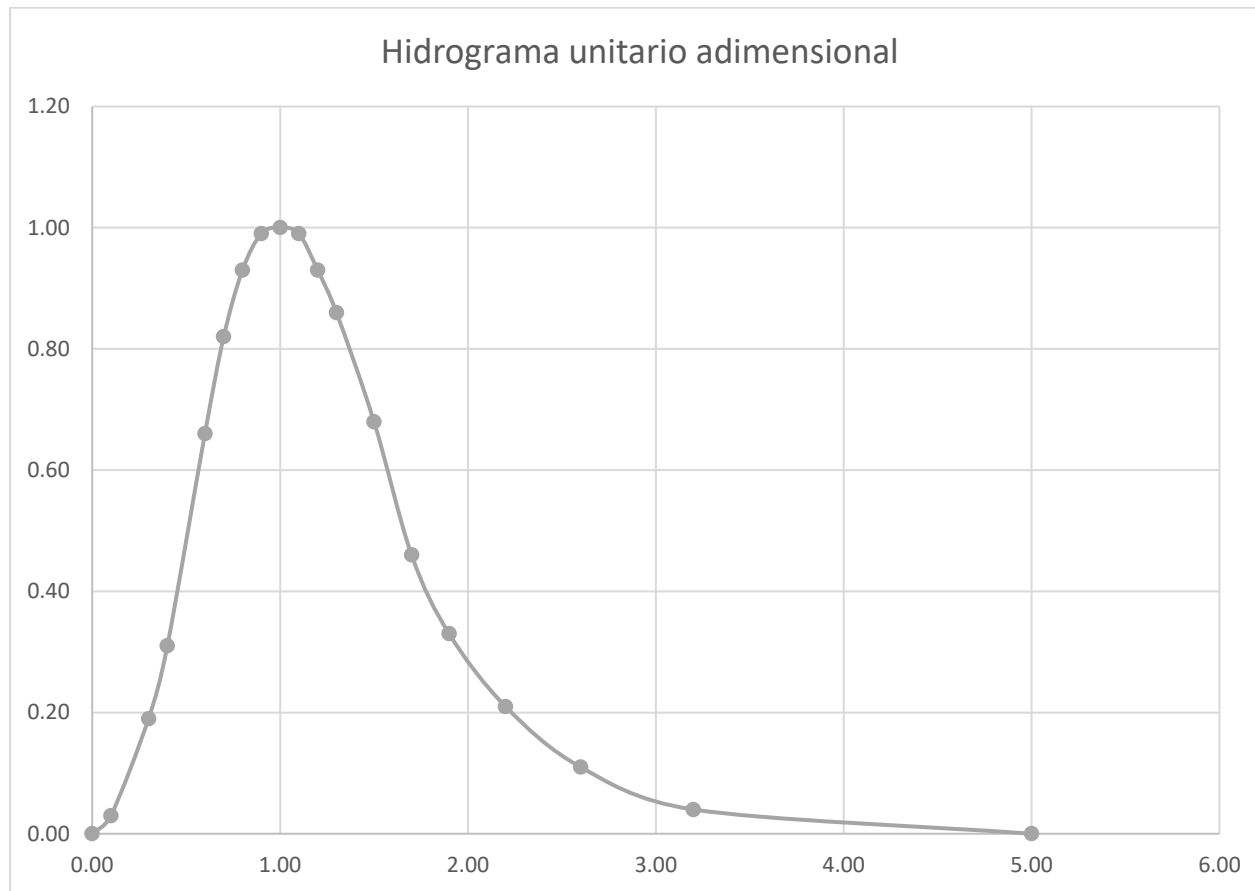
Método de Chow

El método está basado en la teoría del hidrograma unitario, es aplicable a cuencas pequeñas en donde el escurrimiento es sensible a lluvias intensas y de corta duración, donde predominan las características físicas de la cuenca sobre las del cauce principal. El método se define como el hidrograma de escurrimiento directo resultante de 1 cm de lluvia excedente cubriendo uniformemente toda el área de la cuenca por lo que la cantidad total también es uniforme durante la duración de la lluvia.

El gasto pico se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación 27. Gasto pico Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial

$$Q_p = \frac{0.278 A P_e}{d} Z$$



Gráfica 1. Hidrograma unitario adimensional Fuente: Principios y fundamentos de hidrología superficial

Donde 0.278 es una constante, A es el área de la cuenca en km², P_e es la precipitación efectiva; d es la duración y z es un factor de reducción del pico Chow encontró una relación entre el factor de reducción Z y el cociente de la duración y el tiempo de retraso T_L , T_L lo define de una forma empírica con la siguiente fórmula:

Ecuación 28. Tiempo de retraso Fuente: Introducción a la hidrología urbana

$$T_L = 0.00505 \left(\frac{L_C}{\sqrt{S_C}} \right)^{0.64}$$

T_L se estima en horas y ocupara los valores de la longitud del cauce principal (L_C) en metros y la pendiente promedio (S_C) en porcentaje.

La duración de exceso con la que se obtiene el mayor gasto pico se puede obtener con la siguiente expresión:

Ecuación 29. Duración de exceso Fuente: Instituto de ingeniería UNAM

$$de = 2 \sqrt{T_c}$$

Como se mencionó anteriormente el factor de reducción tiene una relación estrecha con el cociente de la duración y el tiempo de retraso, en este caso la duración se tomará directamente de la duración de exceso ya que con el uso de esta se obtendrán gastos máximos.

El Instituto de ingeniería de la UNAM ofrece relaciones para estimar el valor del factor de reducción Z de acuerdo a valores obtenidos del cociente d/T_L

Cuadro sinóptico 5. Factor de reducción Z. Fuente: II UNAM

$$\text{Factor de reducción Z} \left\{ \begin{array}{l} \text{Para } d/T_L \text{ entre 0.5 y 0.4} \\ \text{Para } 0.4 \leq d/T_L \leq 2 \\ \text{Para } \frac{d}{T_L} > 2 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} Z = 0.73 \left(\frac{d}{T_L} \right)^{0.97} \\ Z = 1.89 \left(\frac{d}{T_L} \right)^{0.23} - 1.23 \\ Z=1 \end{array} \right.$$

Se establecen los métodos anteriores para realizar el análisis de gastos de diseño en la cuenca seleccionada para la presente investigación, una vez obtenidos los resultados se compararán para seleccionar el gasto que influirá en el dimensionamiento del jagüey.

La realidad es que para poder llevar agua de las diferentes fuentes hacia las obras de captación se deben considerar obras de toma que permitan alcanzar este objetivo.

Obra de toma

Dentro de un sistema de abastecimiento se cuentan con diversos componentes que son necesarios para alcanzar un objetivo, a grandes rasgos se tienen los siguientes: captación, conducción y distribución, en temas anteriores se abordó el componente de la captación, en este apartado se hablará sobre la obra de toma, que también es un componente importante para los sistemas de abastecimiento ya que en este se controlan, regulan y derivan el agua que ya se captó en las estructuras diseñadas para posteriormente dirigir las hacia el sistema de distribución, este componente es el puente necesario para lograr la captación y la distribución.

En el diseño del sistema este juega un rol importante debido a que un mal dimensionamiento, en el peor de los casos puede no brindar los volúmenes necesarios en las actividades para las que se establezca el sistema.

Se considera que para el diseño de las obras de toma se debe tener un conocimiento de los volúmenes de demanda, estos datos se conocen, como se mencionó en temas anteriores a través de la aplicación del análisis hidrológico y el de uso consuntivo, para así poder extraer los volúmenes que se requieren de acuerdo a estos análisis.

Elementos adicionales de las obras de toma

- Canal de llamada. Este es una obra de conducción que permite derivar el agua hacia la captación
- Rejilla. La aplicación de este elemento en las obras de toma impide el ingreso de material sólido en el sistema de captación.

- Agujas. Este tipo de elementos son usados comúnmente en ríos, pues este corta en ingreso de agua.
- Dique. Es una estructura utilizada para desviar agua hacia el canal de llamada.

Se puede afirmar que los sistemas de obra de toma deben de contener alguno de los elementos antes mencionados, aunque en realidad depende del tipo de agua captada, que bien puede ser superficial (escurrimientos naturales como lo son ríos o el agua proveniente de la precipitación), subsuperficial (pozos someros) o subterránea (acuíferos)

Estas obras son importantes porque como ya se mencionó logran llevar el agua hacia los diferentes sistemas de captación.

Jagüeyes como obras de captación

Los jagüeyes son muy similares en apariencia a lagos o lagunas y mantienen el agua parcialmente estancada en donde se presentan variaciones del nivel de agua, para darle un posterior uso ya sea pecuario o domestico por lo tanto son obras recurrentes en poblaciones rurales en su mayoría, estos pueden ser temporales o permanentes de acuerdo a las lluvias que tenga la zona y para ser considerados de tal manera deben de almacenar agua por lo menos durante cuatro meses al año.

El origen de la palabra jagüey proviene del taino, que es una lengua indígena proveniente del caribe y que significa balsa, pozo lleno de agua en el que abreva el ganado.

[Ventajas y desventajas](#)

Para este tipo de obras dentro de las ventajas que podemos mencionar es que ayudan para tener una disponibilidad de agua, que proviene de las lluvias y por lo tanto su almacenamiento mantendría un suministro en las épocas de estiaje, o incluso para brindar agua en terrenos de temporal, donde el riego a través de extracción de aguas de pozos no logra cubrir estos terrenos, otra ventaja sería que ya que mantienen agua durante ciertos periodos pueden ayudar a favorecer el

entorno de los terrenos y el ambiente, debido a que no requiere conocimientos técnicos avanzados para su manejo y operación el horizonte de recuperación de la inversión es bajo pues las estructuras son sencillas de construir ya que es muy fácil adaptar los materiales a las condiciones de la región.

Aunque por otro lado dentro de las desventajas es que se debe disponer de grandes extensiones de superficie para poder lograr la recolección de agua, además de que requiere supervisión técnica para su diseño y poder garantizar un correcto funcionamiento, también dentro de las desventajas es que los productores no tienen control sobre la cantidad de agua que se almacena así que este factor está determinado por la cantidad de lluvias que se presenten.

Elementos de un jagüey

- **Canal de llamada**

Este es un canal por el que se capta el agua proveniente de las laderas para poder conducirla hacia el jagüey, en algunas ocasiones si es necesaria la implementación de este tipo de canales en los márgenes de la obra, se deben colocar estratégicamente para poder captar la mayor cantidad de agua, deben de tener las dimensiones y ubicación precisa para potencializar su funcionamiento.



Ilustración 2. Canal de llamada Fuente: Diseño y construcción de jagüeyes SAGARPA

- **Vertedor de excedencias**

Las obras de excedencia o los vertedores de demasías se construyen con el objeto de conducir los volúmenes de agua excedentes que no pueden ser retenidos en la

obra de captación. Esta obra accesoria se coloca para un correcto funcionamiento de la obra principal que es la olla de agua.



Ilustración 3. Vertedor de excedencias Fuente: Diseño y construcción de jagüeyes SAGARPA

- **Estabilidad de taludes**

Para garantizar la estabilidad de la estructura se sugiere en este tipo de estructuras como son los jagüeyes que el talud mínimo sea 2:1 del lado donde está en contacto con el agua y 3:1 en el lado de aguas bajo. Se sugiere cubrir con vegetación los taludes para evitar la erosión y colocar un cerco.



Ilustración 4. Estabilidad de taludes. Fuente: Diseño y construcción de jagüeyes SAGARPA

Criterios de diseño

Para establecer una obra de este tipo de deben tomar en consideración los siguientes puntos:

- Cantidad de lluvia anual disponible, esto a través de información meteorológica y un análisis hidrológico como se describió anteriormente.
- Demanda diaria de agua, para conocer este dato es necesario el análisis de uso consuntivo.
- Tipo de suelo, a través de esta información se considerará si permitirá la retención del agua o deberán establecerse otros procedimientos para poder lograr la impermeabilización.
- Tipo de clima, como por ejemplo si es seco o húmedo, en este parámetro se visualizará si el agua requerirá un almacenamiento cerrado o no pues la evaporación afectará la cantidad de agua disponible.

Y a partir de estos parámetros considerar si la información obtenida hace viable establecer un proyecto de este tipo.

Dimensionamiento del jagüey

Cuando los jagüeyes se plantean como obras pequeñas se opta por diseñar de una manera sencilla con la aproximación de áreas regulares conocidas y se propone la obtención del volumen a través de la aplicación de la fórmula de cono truncado.

Ecuación 30. Fórmula para cálculo de volumen de un cono truncado

$$V = \frac{1}{3} \pi h * (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2)$$

En donde

V; Volumen de excavación (m³)

h; Altura del jagüey (m)

r₁; Radio inferior (m)

r₂; Radio superior (m)

Y a partir de la fórmula anterior considerando los criterios de estabilidad de taludes se obtiene el volumen necesario calculado a partir del uso consuntivo.

Disposición y dimensiones del vertedor

Para el diseño se requiere también conocer el valor del gasto máximo (Q) y en este caso se tomará el valor correspondiente de acuerdo al análisis hidrológico una vez comparados los métodos analizados.

A través de la SAGARPA se menciona una expresión para determinar el dimensionamiento del vertedor de excedencias, con la fórmula de Francis que se aplica en vertedores rectangulares como se presenta a continuación.

Ecuación 31. Fórmula de Francis. Fuente: SAGARPA

$$Q = C_R \times L \times h_v^{3/2}$$

En donde Q es el gasto de diseño que se seleccionó en el análisis hidrológico en m³/s, L es la longitud del vertedor en metros, C_R es un coeficiente del vertedor con valor adimensional de 1.45 y h_v es la carga sobre el vertedor con unidades en metros.

El procedimiento para calcular las dimensiones del vertedor consiste en proponer valores de L y h_v , donde los valores varían de acuerdo a las restricciones que presente el sitio, el valor de L es de acuerdo con la proporción del terraplén del vertedor, así que proponiendo el valor de L solo queda despejar la ecuación 30 para conocer el valor de la carga sobre el vertedor, de lo anterior se obtiene.

Ecuación 32. Carga del vertedor

$$h_v = \left(\frac{Q}{C_R \times L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

En la construcción de jagüeyes se recomienda que la colocación de los vertedores no quede sobre los terraplenes que forman el bordo del jagüey, debido a que las obras necesitan ser totalmente compactadas y en caso de ser colocadas de la forma antes mencionada deberá garantizarse que la mampostería de los vertedores quede bien compactada. Además, se recomienda proveer un bordo libre de al menos 20 cm.

Cabe mencionar que el volumen del jagüey está determinado en parte por la cantidad de agua que requerirán los cultivos para desarrollarse correctamente, el análisis se hará a través del uso consuntivo.

Distribución de agua

Para que el agua pueda ser conducida hacia las obras de riego se establecen obras que puedan derivar el agua desde el almacenamiento hasta el siguiente punto estratégico como lo es el sistema de riego, esto a través de obras de toma o bocatomas, estas son estructuras hidráulicas construidas para extraer o captar total

o parcialmente el caudal, estableciendo así por lo general lo que se define como el gasto máximo que una obra puede admitir.

Partes de una bocatoma

- Compuertas de control y cierre de la compuerta
- Dispositivos para medir aguas arriba y debajo de la compuerta de control, en algunos casos estos pueden ser reglas graduadas.

Abastecimiento de agua hacia los cultivos

Una vez que se tienen el agua disponible necesaria para los cultivos, el siguiente paso importante es la distribución.

Un buen sistema de distribución es capaz de satisfacer la demanda requerida, pero para eso también se debe de considerar que tipo de red de distribución es el que mejor se adapta a las necesidades.

Existen diferentes tipos que redes, pero se pueden clasificar generalmente en ramificados, malla y combinados, la selección depende de factores como la topografía localización de las obras y tipos de desarrollo de las áreas a considerar.

Redes ramificadas

Este sistema se puede comparar a la estructura de un árbol, es decir cuenta con una línea principal o troncal que distribuye el suministro a través de ramificaciones. Este tipo de red en cada punto recibe agua a través de una sola línea y a medida que las arterias se alejan más del punto de suministro los diámetros de las tuberías se ven reducidos, el empleo de este tipo de red es aconsejable aplicarlas solo en ámbitos rurales en poblaciones pequeñas.

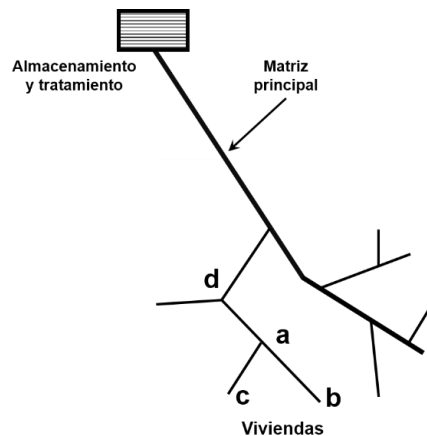


Ilustración 5. Ejemplo de red ramificada Fuente: Sustainable Sanitation and Water Management

Sistema en malla

Este sistema muy opuesto al anterior interconecta todas las tuberías y no hay terminales muertas, es decir el agua puede llegar a un mismo punto a través de diferentes caminos, la ventaja de la aplicación de este sistema es que en caso de una falla el sistema se puede aislar el tramo averiado y el agua a través de diferentes caminos suministrar los volúmenes de demanda.

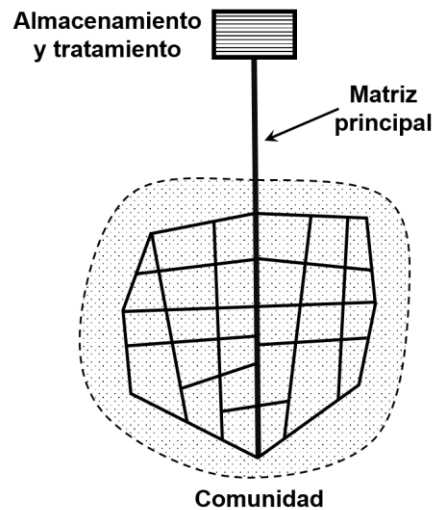


Ilustración 6. Ejemplo de red en malla Fuente: Sustainable Sanitation and Water Management

Sistemas combinados

Este sistema solo combina los dos anteriores

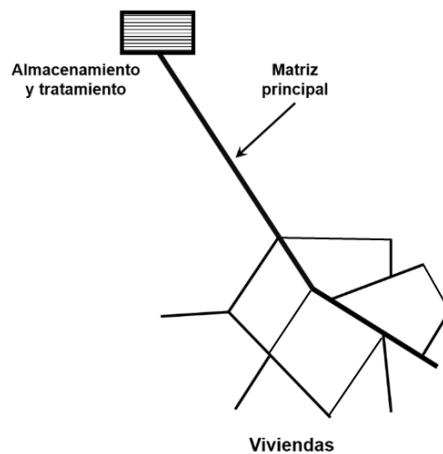


Ilustración 7. Ejemplo de red mixta Fuente: Sustainable Sanitation and Water Management

Dentro de los componentes del sistema de distribución se mencionan las tuberías, estas forman redes que permiten el flujo de agua desde el punto A hasta el punto B las tuberías pueden ser de alimentación, principales y secundarias, aunque este criterio depende de donde sean colocadas las tuberías dentro de un sistema respecto a otras.

La selección del material de las tuberías queda a criterio del diseñador, de las demandas solicitadas y en general de la zona de estudio,

Los sistemas de distribución tienen la función de transportar los caudales captados, desde la obra de tomas hasta el lugar necesario, en este caso se aplicará hacia zonas de cultivo, como la finalidad es mantener bajos los costos de ejecución se opta por la utilización de tuberías en el sistema de red ramificada. dentro del diseño se deben considerar diferentes factores como, por ejemplo: tipo de material del cuerpo, coeficiente de rugosidad, velocidades, pendientes. Taludes, entre otros que se mencionarán conforme se desarrolle la metodología.

Diseño hidráulico de conducción

Dentro de las consideraciones para diseñar las líneas de conducción están la topografía. La conducción debe seguir las zonas accidentadas del terreno, como recomendación para tuberías de fibro-cemento o PVC deben de ir enterradas para protegerlas de los agentes exteriores.

En el diseño de la tubería se debe de tener especial cuidado para que la línea de conducción quede por debajo de la línea piezométrica.

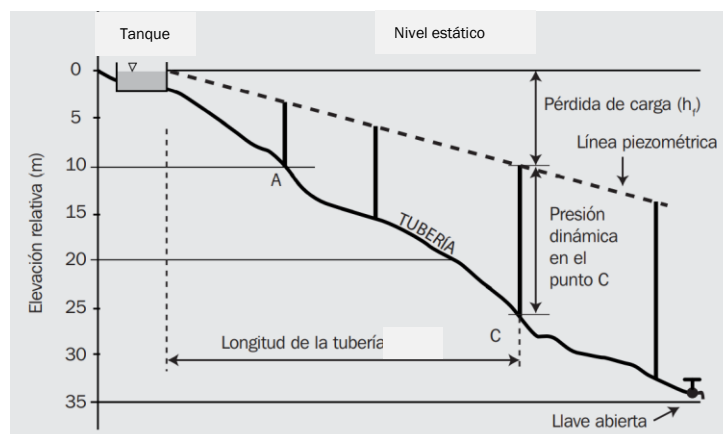
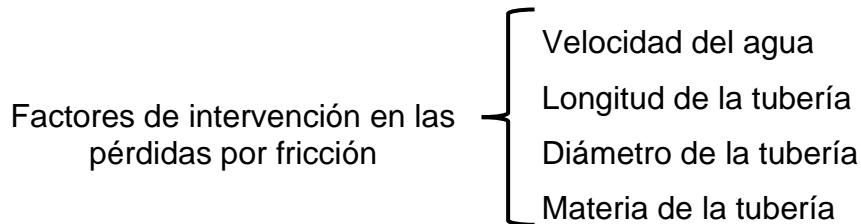


Ilustración 8. Equilibrio dinámico. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego

La energía dinámica será la que proporcione la energía para permitir que el sistema funcione a través de las tuberías, también se debe considerar que a través del sistema existirán pérdidas debido al rozamiento del agua en las superficies de la tubería. Las pérdidas se relacionan con los factores del cuadro sinóptico 6. Factores de intervención en las pérdidas por fricción.

Cuadro sinóptico 6. Factores de intervención en las pérdidas por fricción. Fuente: Manual para el diseño de sistemas de minirriego



Una vez que se analiza el trazo altimétrico se continua con el cálculo del diámetro de la red, como la distribución se logrará a partir de una bomba, debido a que se quiere aprovechar al máximo el agua captada en la estructura de almacenamiento y se diseñará a partir de este criterio.

El diámetro estará definido por el factor económico, la selección consiste en hacer que el gasto anual de los diferentes componentes sea el mínimo, así que se analizan diferentes alternativas de diámetro.

Cálculo de pérdidas por fricción

Para los sistemas de riego en donde se conduce el agua a través de las tuberías también es importante conocer la presión que ejerce el agua sobre los conductos porque a partir de esa consideración se establecerán los espesores que se requieren para dar mayor o menor resistencia a la presión según sea el caso.

Para este punto se calcularán las pérdidas de carga totales, que se compone de las pérdidas continuas más las singulares, pero como en la mayoría de los casos estas últimas tienden a ser muy pequeñas se considera habitualmente solo las continuas. Lo anterior descrito se presenta en la siguiente expresión.

Ecuación 33. Pérdidas por fricción. Fuente: Manual para el diseño de sistemas de minirriego

$$h_T = h_f + h_s \approx h_f$$

A continuación, se presenta el procedimiento para el cálculo de la conducción por bombeo.

1. Determinar valores que serán usados posteriormente para el cálculo como lo son: gasto máximo, tiempo de operación de bombeo y su eficiencia, costo por K.W.H.y material de la tubería.
2. Determinar los valores de carga estática, para obtener este valor suelen crearse diagramas que permitan la visualización de las cotas.
3. Una vez obtenidos los valores de los puntos anteriores se continua con la obtención del área de la tubería necesaria suponiendo una velocidad de 2 m/s con ayuda de la ecuación 34, se despeja para obtener el área de la tubería.

Ecuación 34. Cálculo del caudal

$$Q = V * A$$

4. Una vez que se despeja el diámetro para la tubería este valor se debe aproximar a un diámetro comercial, este valor puede compararse con catálogos de tuberías y como el diámetro se modifica a un diámetro comercial también se debe realizar el ajuste de velocidad
5. Se realiza el cálculo de las pérdidas mayores usando la ecuación de Manning

Ecuación 35. Pérdidas de fricción ecuación de Manning

$$hf = K * L * Q^2$$

en la ecuación 35 se consideran los valores de Q en m/s², L en metros y donde,

Ecuación 36. Valor de K

$$K = \frac{10.3 * n^2}{D^{16/2}}$$

En la ecuación 36, n va en relación al tipo de material que se seleccionó para la tubería con ayuda de la tabla 19 y el valor de D (diámetro) en metros.

6. Cálculo de la carga dinámica total

$$H = \text{carga estatica} + \text{pérdidas mayores} + \text{pérdidas secundarias}$$

7. Se calcula la potencia de la bomba con la siguiente formula.

Ecuación 37. Potencia de la bomba

$$P = \frac{\gamma * Q * H}{76 * \eta}$$

El gasto debe de ser en m³/s y η es la eficiencia de la bomba.

8. Cálculo de golpe de ariete

Para la protección del equipo de bombeo se debe considerar los efectos que produce el llamado golpe de ariete, este se produce debido a cambios repentinos de gasto en la tubería que generalmente se producen por el apagado o encendido de la bomba o incluso por el cierre o apertura de válvulas. Para el cálculo de esta sobrepresión se considera la fórmula de N. Joukovsky ya que esta considera los efectos más críticos.

Ecuación 38. Golpe de ariete

$$h_i = \frac{145 v}{\sqrt{1 + \frac{Ea * D}{Et * e}}}$$

Tabla 19. Valores para los distintos tipos de materiales en tuberías.

Tubería de	Velocidad máxima permisible (m/s)	n Coeficiente de rugosidad de Manning	C coeficiente de capacidad hidráulica
Concreto simple hasta 0.45 m de diámetro	3	0.011	140
Concreto reforzado de 0.60 m de diámetro o mayor	3.5	0.011	140
Fibro-cemento	5	0.01	140
Acero galvanizado	5	0.014	140
Acero sin revestimiento	5	0.014	140
Acero con revestimiento	5	0.011	140
Polietileno de alta densidad	5	0.009	140
PVC (policloruro de vinilo)	5	0.009	140

De la fórmula 38 se considera que v , es la velocidad en la tubería en m/s, E_a es el módulo de elasticidad del agua en kg/cm^2 , D es el diámetro interior de la tubería en cm, E_t es el módulo de elasticidad del material de la tubería (tabla 20) y finalmente e es el espesor de la tubería en cm.

9. Para el último paso se considera que las válvulas absorben el 80% de la sobrepresión y el 20% restante lo absorben las tuberías. Por lo tanto, la presión total sobre la tubería se obtiene sumando la carga dinámica total y la presión que absorbe la tubería provocada por el golpe de ariete.

Para poder seleccionar la tubería se considera que la presión total sobre la misma debe de ser menor al valor que se tiene de acuerdo a los catálogos de los distribuidores.

Una vez realizado el análisis hidráulico para los diferentes diámetros de tuberías se continua con un análisis económico, pues este factor determinará la selección para el diseño.

De acuerdo a los diferentes tipos de distribución mencionados anteriormente, se describe el sistema de distribución ramificado debido a que será el que se implementará en el diseño de la red para el presente proyecto.

Tabla 20. Valores de módulos de elasticidad.

Material	E kg/cm^2
Acero	2100000
Hierro fundido	930000
Concreto simple	125000
Asbesto-cemento	328000
PVC	28100
Polietileno	El módulo de elasticidad está relacionado con el tiempo ya que no es estático en este tipo de material. Puede adoptarse 5200
Agua	20670

Diseño de sistemas de distribución ramificados.

A continuación, se presenta un procedimiento para el diseño.

1. Trazado tentativo de la red de distribución, como se mencionó anteriormente el trazado debe tener una línea principal y a partir de esta deben de salir ramificaciones que permitan que el agua llegue a todas las zonas a considerar para el riego.
2. Determinar el gasto por metro de tubería, esto se logra dividiendo el gasto entre la longitud virtual de cada tramo de tuberías, para poder entender el concepto de longitud virtual este se determina de acuerdo a la cantidad de lados hacia los que se distribuye el agua, por ejemplo, si en una zona por donde pasa la tubería las viviendas se encuentran sobre ambos lados de la calle la longitud virtual equivale a dos veces la longitud real mientras que si solo se encuentran de un lado la longitud virtual será igual a la real.

Ecuación 39. Gasto unitario. Fuente: César Valdez Abastecimiento de agua potable

$$q = \frac{\text{gasto maximo horario}}{\sum \text{Longitudes virtuales de cada tramo de la red}}$$

3. Enumerar los cruceros que se tienen en la red, generalmente para realizar este paso se empieza a enumerar a partir de la zona más alejada hacia el tramo de alimentación.
4. Calcular el gasto propio, este se logra una vez teniendo el coeficiente de gasto calculado en el punto 2 y se multiplica por la longitud virtual de cada tramo
5. Los gastos se acumulan en cada crucero de acuerdo a los tramos secundarios.
6. Determina el diámetro de cada tramo, usando el diámetro acumulado en cada crucero, usando la siguiente expresión:

Ecuación 40. Cálculo de diámetro de tubería. Fuente: César Valdez Abastecimiento de agua potable

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

De la expresión anterior se considera que la velocidad es equivalente a 1.2 m/s la expresión se reduce a:

Ecuación 41. Reducción expresión de cálculo del diámetro.

$$d = 1.28 * \sqrt{Q}$$

En la ecuación 41, realizando la conversión de unidades, se tiene que d, es el diámetro de la tubería en pulgadas y Q es el gasto acumulado en l/s.

El diámetro que se obtiene con la expresión 41 resulta ser un diámetro teórico y este debe ser modificado para ajustarse a un diámetro comercial.

7. Se continua con el cálculo las pérdidas de carga en cada punto usando la ecuación de Hazen- Williams como se presenta a continuación:

Ecuación 42. Pérdidas de carga Hazen y Williams. Fuente: César Valdez Abastecimiento de agua potable

$$h_f = \sqrt[0.54]{\frac{Q}{0.0177435938 * C * d^{2.63}}} * L$$

De la expresión anterior se tiene que Q es en l/s, el diámetro (d) se considera en pulgadas de acuerdo al ajuste que se realizó para los diámetros comerciales, la longitud (L) en metros y C es el coeficiente de acuerdo al material de la tubería este se puede tomar de la tabla 19. Valores para los distintos tipos de materiales en tuberías, de la columna C coeficiente de capacidad hidráulica.

De los resultados obtenidos se identifica el crucero más desfavorable y este será el de mayores pérdidas, una vez identificado el crucero se le asigna una carga disponible de 15 metros.

8. Se calculan las cargas disponibles a partir del crucero más desfavorable, sumando o restando según sea el caso y estas se consideran como cargas piezométricas.
9. Se indican las cotas del terreno de cada crucero de acuerdo a la topografía.
10. Se obtiene una carga disponible del crucero con la siguiente consideración.

$$\text{Carga disponible} = \text{Cota piezometrica} - \text{cota de terreno}$$

Dado que el riego es uno de los procedimientos que permite una distribución del agua captada hacia los cultivos se mencionaran algunos de los diferentes tipos de riego.

- **Por aspersión**

El principio de este método es lanzar agua desde un punto hasta otro, con el fin de humedecer la zona, una característica de este sistema es que funciona incluso con una baja presión considerando que trabaja hasta con 1.5 kg/cm² y dentro de las ventajas de mayor peso que tiene el uso de este método es el ahorro en el consumo de agua, ya que se pueden ajustar la potencia y la precisión para abarcar mayores áreas de cultivo.

- **Por goteo**

La idea del funcionamiento es que distribuye el agua a través de goteros, estos humedecerán las raíces de cada una de las plantas, como el método anterior suponen un consumo menor de las cantidades de agua, aunque como desventaja implica un mayor aporte económico al inicio y requiere mantenimiento dado que pueden producirse obstrucciones en las tuberías.

- **Riego por gravedad**

Este sistema se caracteriza por el uso de surcos, es básicamente conducir grandes cantidades de agua para que se vaya infiltrando lentamente el agua a través de los surcos.

En los métodos de riego superficial el agua se empieza a distribuir a partir del punto más alto y escurre hacia la parte más baja, se recomienda que los surcos deben ser rectos y paralelos

Distribución por aspersores

El diseño de riego localizado se desarrollará el procedimiento para el cálculo del sistema de riego por aspersión debido a que al usar este método se optimiza el uso del agua en la agricultura.

Para este punto se deben conocer datos de un pre dimensionamiento que se abordó en secciones anteriores.

Inicialmente se calcularía el tiempo de operación del sistema

Ecuación 43. Tiempo de operación del sistema Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.

$$t_{os}(h) \leq 24 - \frac{V_t(m^3)}{3.6 \times Q \left(\frac{l}{s}\right)}$$

Para la desigualdad anterior se emplean las variables de $V_t(m^3)$ que es el volumen de el tanque de almacenamiento que en su caso es el del jagüey y donde $Q(l/s)$ es el caudal aforado de la fuente.

Para cuando se obtenga el resultado se debe plantear ajustarlo a un número cerrado.

Para este caso debera considerarse un gasto instantáneo ya que la fuente no tiene un gasto continuo pues este sera suministrado por un tanque de almacenamiento.

Ecuación 44. gasto instantáneo Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.

$$Q_i \left(\frac{l}{s}\right) = Q \left(\frac{l}{s}\right) + \frac{V_t(m^3)}{3.6 \times t_{os}(h)}$$

Dentro de este apartado deberan buscarse fichas tecnicas de aspersores comunes ya que se usarás las propiedades de estos en los siguientes cálculos.

Para los aspersores se debe considerar que la cantidad de aspersores a colocar deberá ser aproximado al caudal del sistema y para eso se aplica la ecuación siguiente.

Ecuación 45. Número de aspersores. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.

$$n_{asp} = \frac{Q_i}{q_{asp}}$$

Donde el número de aspersores será el cociente entre el caudal aforado de la fuente en l/s y el caudal de funcionamiento del aspersor (q_{asp}) en l/s.

Posteriormente se obtendrá el déficit de caudal y se empleará la expresión siguiente:

Ecuación 46. Déficit de caudal. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.

$$déficit (\%) = \frac{n_{asp} \times q_{asp} - Q_i}{Q_i}$$

Una vez calculado eso se deben de determinar las distancias de traslape a través de la siguiente ecuación.

Ecuación 47. Separación entre aspersores Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO.

$$s(m) \leq 0.6 \times D_h(m)$$

En la ecuación anterior $D_h(m)$ el diámetro húmedo de los aspersores, este dato deberá ser dado por las fichas de fabricantes y deberá de ajustarse el resultado a un valor múltiplo que pueda ser distribuido en la zona de cultivo.

Cuando se colocan aspersores se obtiene una precipitación artificial que puede ser medida y para obtener el valor de ese parámetro se utiliza la expresión siguiente:

Ecuación 48. Pluviometría de un aspersor. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO

$$Pluv_{asp} \left(\frac{mm}{h} \right) = \frac{q_{asp} \left(\frac{l}{h} \right) * 3600}{s^2(m^2)}$$

Donde las variables de $q_{asp} \left(\frac{l}{h} \right)$ recordemos que es el el caudal de funcionamiento del aspersor y s es la separación entre aspersores.

Con el fin de no producir encharcamientos se considerarán parámetros del suelo de acuerdo a la zona de estudio y se aplicara la siguiente ecuación.

Ecuación 49. Pluviometría máxima permisible. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO

$$Pluv_M \left(\frac{mm}{h} \right) = I_b \left(\frac{mm}{h} \right) * \frac{f_p(\%)}{100}$$

Donde el valor de infiltración básica del suelo $I_b \left(\frac{mm}{h} \right)$ se tomará de acuerdo a la tabla 3. Propiedades físicas de los suelos y $f_p(\%)$ se relación con un factor de reducción de acuerdo a la pendiente y se tomara de la tabla 21.

Una vez definido la pluviometría del aspersor se determinará el tiempo que deberán aplicarse.

Ecuación 50. tiempo de aplicación. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO

$$t_a(h) = \frac{LR_{Bruta}(mm)}{Pluv_{asp} \left(\frac{mm}{h} \right)}$$

Para este punto los valores de $t_a(h) < t_{os}(h)$.

Tabla 21. factor de reducción por pendiente Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO

Valores del factor de reducción por la pendiente	
Pendiente	f_p (%)
0 -8 %	100 %
9 – 20 %	80
>20 %	60 %

Se calcula la superficie por postura, este cálculo determina la superficie que se riega de manera simultánea con la siguiente ecuación:

Ecuación 51. Superficie por postura. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO

$$S_{post}(m^2) = n_{asp} * s^2(m^2)$$

Para conocer la superficie regada por día de acuerdo al número de aspersores de utilizará la ecuación siguiente:

Ecuación 52. Superficie regada por día. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO

$$S_d(m^2) = S_{post}(m^2) * n_{post}$$

Donde n_{post} es el cociente entre $t_{os}(h)$ y $t_a(h)$ que se define como el número de posturas por día y el resultado deberá ajustarse a un número entero. Lo anterior descrito se expresa en la siguiente formula.

Ecuación 53. Número de posturas por día. Fuente: Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego FAO

$$n_{post} = \frac{t_{os}(h)}{t_a(h)}$$

La información que se abordó en este capítulo servirá como base para poder realizar el diseño del jagüey en la comunidad de Benito Juárez, en parte ciertos criterios que impactan sobre el diseño fueron definidos en este mismo.

Capítulo II.

Reconocimiento del sitio

En este capítulo se desarrollará información que se utilizará y servirá de base para el desarrollo del proyecto, se describirán parámetros presentes en la zona de estudio que se retomarán en la memoria de cálculo del capítulo siguiente.

Como primeros puntos se desarrolla una memoria descriptiva de la zona de estudio,

Memoria descriptiva

Toponimia



Ilustración 9. Glifo Los Reyes de Juárez

El glifo de Los Reyes de Juárez desde su fundación está representado por una cebolla y un comal; significa: "en el comal de las cebollas"; anteriormente se le conocía como "Xonaca Comac" que son dos palabras nahuas que significan "xonaca": cebolla y "comac": comal.

Los Reyes de Juárez pertenece a la región III de las VII regiones existentes en el estado de Puebla. La Región III se encuentra ubicada al noreste del Estado y está conformado por 31 Municipios, presenta una variedad de climas predominando el templado subhúmedo y el clima frío. Tiene una gran cantidad de arroyos intermitentes, así como algunas lagunas y pequeños escurrimientos.

El municipio se localiza entre los paralelos 18° 56' y 19° 00' de latitud norte; los meridianos 97° 47' y 97° 52' de longitud oeste; altitud entre 2 050 y 2 240 m. Colinda al norte con el municipio de Tepeaca; al este con el municipio de Acatzingo y San Salvador Huixcolotla; al sur con los municipios de San Salvador Huixcolotla y Cuapiaxtla de Madero; al oeste con los municipios de Cuapiaxtla de Madero y Tepeaca.

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010, este municipio tiene una población total de 25,553, siendo 12,390 hombres y 13,163 mujeres.

De acuerdo al prontuario de información geográfica municipal para Los Reyes de Juárez la edafología para el municipio corresponde a los siguientes suelos:

Chernozem (40%), Calcisol (11%), Feozem (9%) y Fluvisol (2%).

Las principales comunidades que conforman el municipio son:

- Benito Juárez
- Buenavista de Juárez
- La concordia

- San Juan Acozac
- Santiago Acozac

Macrolocalización



Ilustración 10. Estado de Puebla

El Estado de Puebla se encuentra ubicado al Sureste del Altiplano de la República, entre la Sierra Nevada y al Oeste de la Sierra Madre Oriental tiene la forma aproximada de un triángulo isósceles cuyo vértice apunta hacia el norte y la base hacia el sur; se encuentra entre los paralelos 17° 52' - 20° 52' latitud norte y los 96° 43' y 99° 04' de longitud Oeste; está limitado al Norte con Veracruz, al sur con Oaxaca y Guerrero; al oeste con Morelos, Estado de México, Tlaxcala e Hidalgo y al este con Veracruz.

La Entidad tiene una superficie total de 33,919 Km² que representa el 1.7% de la nacional; ocupa el vigésimo primer lugar en el país. En cuanto a su integración territorial, Puebla cuenta con 4,930 localidades.

Está determinado principalmente por la Sierra Madre Oriental y la Cordillera Neovolcánica, la primera con el nombre de la Sierra Norte de Puebla, se introduce al territorio poblano por el Noroeste, se descompone en las Sierras de Zacapoaxtla, Huauchinango, Teziutlán, Tetela de Ocampo, Chignahuapan y Zacatlán. Presenta altitudes de 4,282 metros sobre el nivel del mar, las cumbres más elevadas en esta zona son: Apulco, Chichat, Chignahuapan, Soltepec y Tlatlauquitepec, la cordillera dentro del territorio poblano recibe diversos nombres: Sierra Nevada, Serranía de los Frayles, Tenixco, Amozoc, Tepeaca y Soltepec. Entre las cumbres más altas sobresalen el Pico de Orizaba o volcán Citlaltepētli (cerro de la Estrella) con 5,747 metros el Popocatepētli (montaña humeante) con 5,452 metros, el Iztaccíhuatl (mujer dormida) con 5,286 metros y la Malinche (la de la falda verde) 4,461 metros, al sur del territorio la Sierra Madre de Oaxaca, con el nombre de Sierra Colorada, recorre la sierra mixteca baja o poblana, cuyas eminencias principales son la Sierra de Atenahuacán, Zapotitlán, el Lomerío al Suroeste, y la Sierra de Tehuacán.

Microlocalización



Ilustración 11. Localidad de Benito Juárez

Benito Juárez.

Su principal actividad económica es la Agricultura; tienen una población de 3751 habitantes de acuerdo con información de Cédulas de información municipal (SCIM) basados en datos de INEGI, con una distancia aproximada a la cabecera municipal de 8 kilómetros.

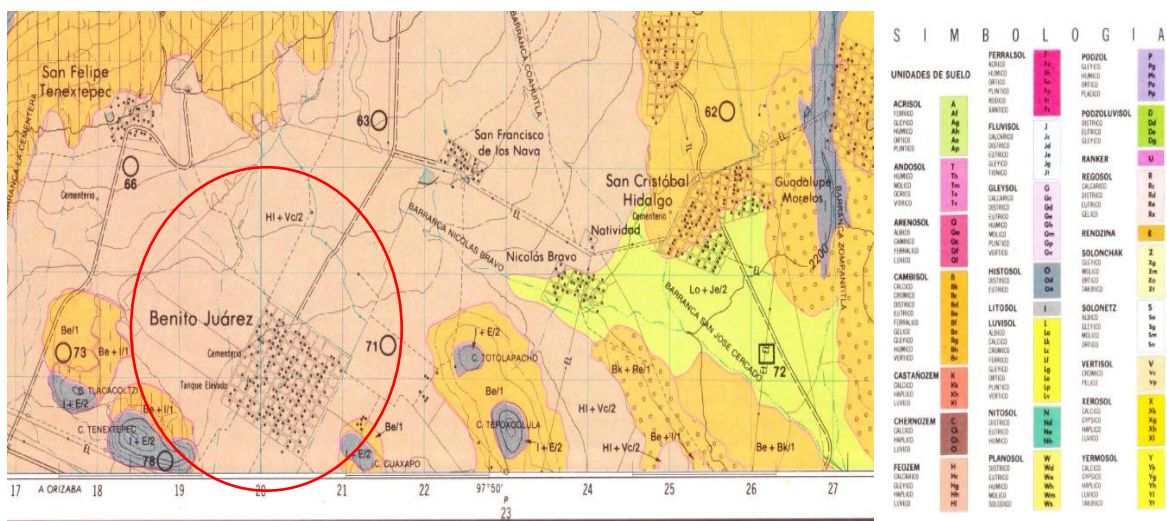
Caracterización de la zona

Edafología

La edafología del sitio de acuerdo a datos obtenidos en el sistema del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para el lugar con la siguiente información:

Benito Juárez, Los Reyes de Juárez, Puebla con latitud 19° 1'26.06" N y longitud 97° 51'44.65" O.

De acuerdo a la ilustración 12 se obtiene que el suelo predominante corresponde al Feozem.



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

Ilustración 12. Carta edafológica

Los Feozem (del griego phaios, oscuro y del ruso zemlja, suelo) son muy fértiles y aptos para el cultivo, si bien son sumamente proclives a la erosión. Con frecuencia son suelos profundos y ricos en materia orgánica. Se desarrollan sobre todo en climas templados y húmedos, por lo que se encuentran recubriendo el Eje Neovolcánico Transversal y porciones de la Sierra Madre Occidental.

Los Feozem y Vertisoles son suelos medianamente profundos y ricos en MO; en conjunto representan el 18.0 % de los suelos del país (SEMARNAT-CP-INEGI, 1999). En la región centro de México, los Feozem se localizan en planicies lacustres y fluvioaluviales o sobre depósitos volcanoclásticos y aluviocoluviales en zonas templadas y húmedas. Los Feozem tienen alto contenido de MO y textura media a fina, drenaje interno moderado y buena aireación. El conjunto de características de estos suelos, hacen que los Feozem y Vertisoles sean empleados para la agricultura en diferentes formas de manejo.

El suelo Feozem se considera en su mayoría como un suelo arcilloso.

Clima y temperatura

Se toma información del Inventario Estatal Forestal y de Suelos (IEFYS) correspondiente al estado de Puebla de donde se aprecia que la región de interés corresponde a un clima templado subhúmedo.

Los tipos de climas se dividen en grupos climáticos siendo el grupo A (cálidos), grupo B (secos), grupo C (templados) y grupo E (fríos) y al que pertenece el clima templado subhúmedo de la región es en grupo C y se presentan sus características a continuación.

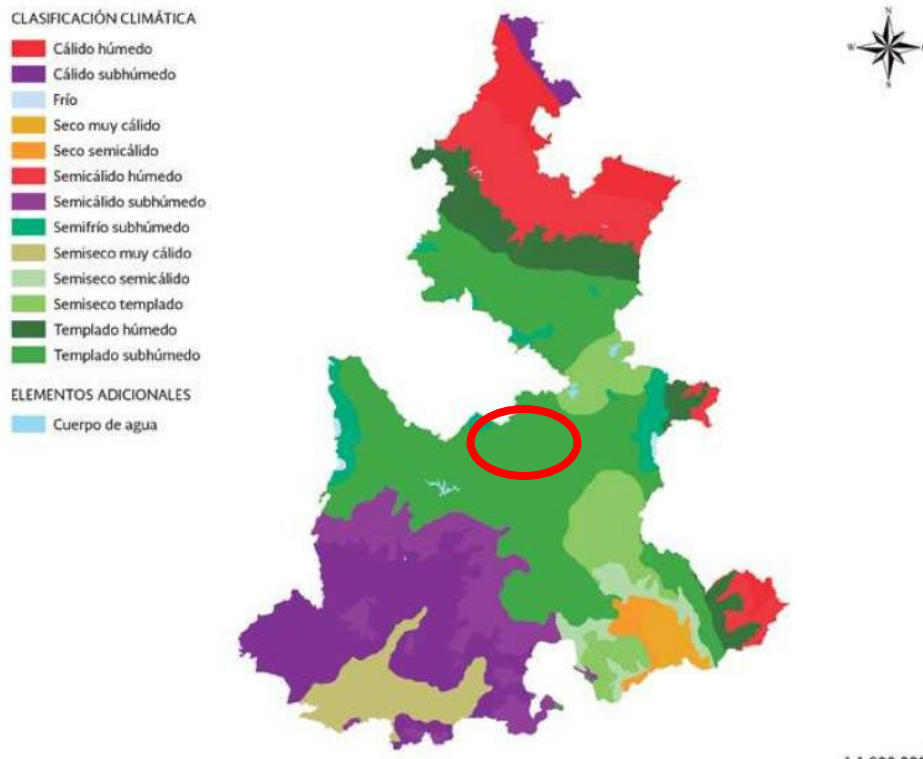


Ilustración 13. Mapa climas Fuente: IEFYS

CLIMA	SUBTIPO CLIMÁTICO	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
Grupo de climas C (templados)	Semicálido húmedo (A)C(fm)	> 18
	Templado húmedo C(fm)	12 a 18
	Templado húmedo C(m)	12 a 18
	Templado húmedo C(m)(w)	12 a 18
	Semicálido subhúmedo (A)C(w ₂)(w)	> 18
	Templado subhúmedo C(w ₀)(w)	12 a 18
	Templado subhúmedo C(w ₁)(w)	12 a 18
	Templado subhúmedo C(w ₂)(w)	12 a 18
	Templado subhúmedo C(w ₃)(w)	12 a 18
	Semifrío subhúmedo C(E)(w ₁)(w)	5 a 12
	Semifrío subhúmedo C(E)(w ₂)(w)	5 a 12
	Semifrío subhúmedo C(E)(w ₃)(w)	5 a 12

FUENTE: INEGI, 2000.

Ilustración 14. Grupo tipo C Fuente: IEFYS

En donde la temperatura media anual oscila entre 12° C a 18° C

Para consolidar la información se consideran datos del sistema meteorológico nacional tomando como referencia la estación climatológica más aproximada y sus datos se presentan a continuación:

ESTACION: 00021005 ACATZINGO DE HIDALGO
 LATITUD: 18°59'38" N. LONGITUD: 097°48'20" W.
 ALTURA: 2,197.0 MSNM.

Para esta estación se tienen registros en un periodo desde 1981 hasta el 2010

ESTACION: 00021005	ACATZINGO DE HIDALGO			LATITUD: 18°59'38" N			LONGITUD: 097°48'20" W			ALTURA: 2,197.00 MSNM			
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA NORMAL	22.8	24.5	27	28.7	28.5	26.4	25.4	26.1	24.8	24.6	24.1	23.3	25.5
MAXIMA MENSUAL	25.9	27.2	28.8	30.8	32	29.7	30.3	30.1	27.5	26.7	26.2	25	
AÑO DE MAXIMA	1996	2008	1991	1998	1983	1998	1982	1981	1982	1981	1994	2007	
MAXIMA DIARIA	30	31.5	35	36	36	37	34	38	32	32.5	31	30	
FECHA MAXIMA DIARIA	26/2009	21/2007	20/1982	13/1998	08/1998	01/1999	04/1982	15/1997	11/1981	18/1981	19/2000	20/2007	
AÑOS CON DATOS	22	22	22	22	21	22	20	19	21	20	20	19	
TEMPERATURA MEDIA NORMAL	13	14.2	16.1	18.2	18.9	18.3	17.5	17.7	17.3	16.2	14.7	13.5	16.3
AÑOS CON DATOS	22	22	22	22	21	22	20	19	21	20	20	19	

Ilustración 15. Estación climatológica Acatzingo

Para la zona de interés se considerará una temperatura media de 16.3 ° C

Dentro del mismo sistema de la red climatológica se revisará información para aquellas estaciones que estén próximas a la zona de interés.

Las cuales son:

- Acajete
- Tepeaca
- Acatzingo
- Vista Hermosa
- Cemex (Tecali de Herrera)
- Además de la estación seleccionada de Acatzingo de Hidalgo se extraerán datos de temperaturas y precipitaciones medias para cada mes, como se presentan en la siguiente tabla (tabla 22. Datos de temperatura y precipitación en la estación Acatzingo de Hidalgo)

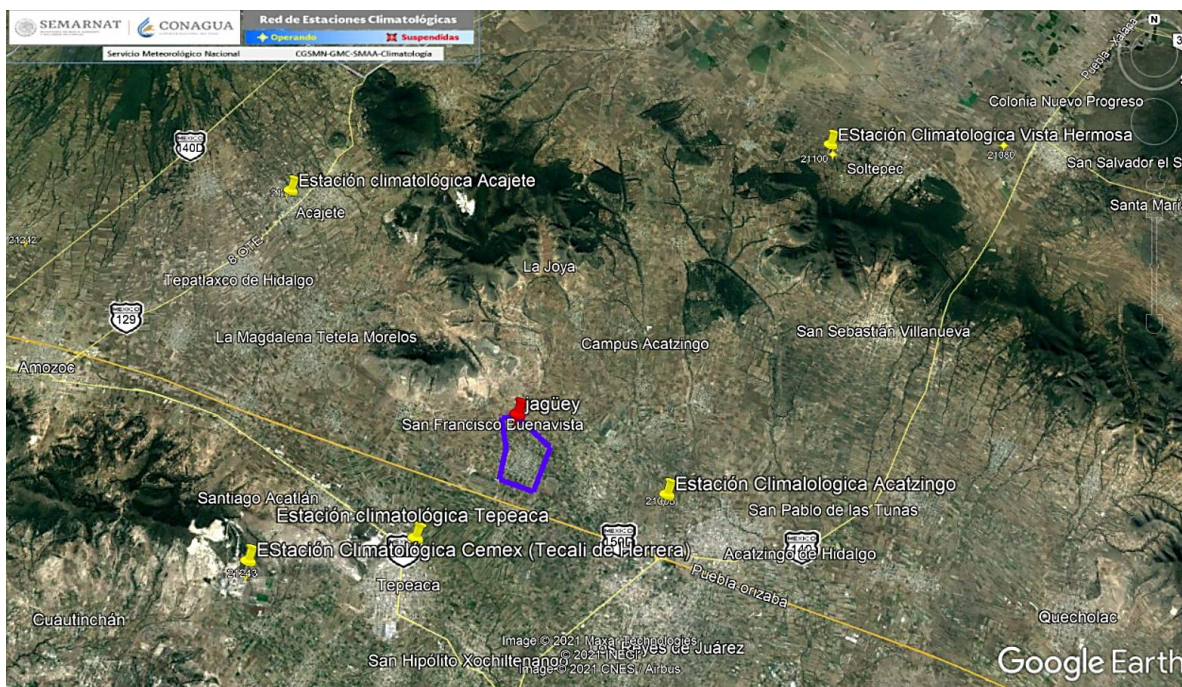


Ilustración 16. Estaciones climatológicas de acuerdo a la zona de estudio

Tabla 22. Datos de temperatura y precipitación en la estación Acatzingo de Hidalgo

Mes	T media (°C)	hp media (mm)
Enero	13	14.1
Febrero	14.2	15.4
Marzo	16.1	9.2
Abril	18.2	34.9
Mayo	18.9	90.2
Junio	18.3	140.3
Julio	17.5	81.3
Agosto	17.7	70.1
Septiembre	17.3	113.5
Octubre	16.2	49.9
Noviembre	14.7	11.8
Diciembre	13.5	10.3

Cultivos y superficies a considerar

En el capítulo uno se menciona que los cultivos a considerar para el análisis del uso consuntivo es el maíz, frijol y hortalizas, además en este apartado se exponen las razones de la selección.

Una vez definidos los cultivos también se debe de definir las superficies que se consideran para el cálculo, en la zona de estudio se selecciona un aproximado de 77 hectáreas. Como se muestra en la siguiente figura



Ilustración 17. Zona de riego

Las hectáreas seleccionadas se encuentran en parcelas entre el jagüey y la comunidad. Se plantea que las setenta y cinco hectáreas se dividan de acuerdo a la importancia establecida en el anuario estadístico de la SAGARPA para el municipio de Los Reyes de Juárez, teniendo los siguientes datos, para las hortalizas se tienen cantidades de producción más altas que el frijol y el maíz, teniendo un total de 657.9 hectáreas considerando el año agrícola 2020, mientras que para el maíz 319 hectáreas y por último el frijol con 141.8 hectáreas, una vez teniendo este panorama se establece que de las setenta y siete hectáreas de proyecto, se destinen 42 hectáreas para cultivo de hortalizas, 18 hectáreas para maíz y 17 para frijol.

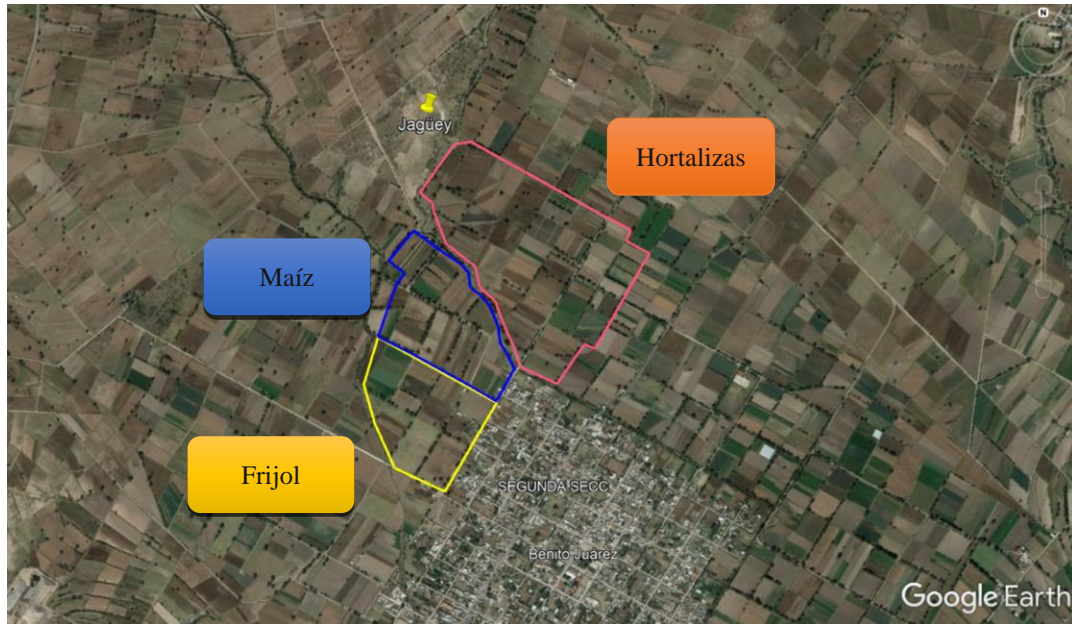


Ilustración 18. División para cada tipo de cultivo

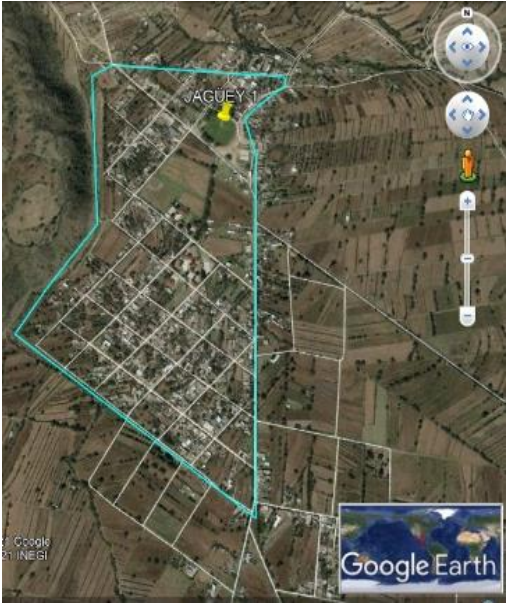

Para las zonas de los cultivos que ya se delimitaron y como se mencionó en el capítulo anterior, la red de riego será a través de tuberías de PVC, se selecciona este material debido a lo económico que resultan su uso, además el caudal suministrado será proporcionado a través de aspersores.

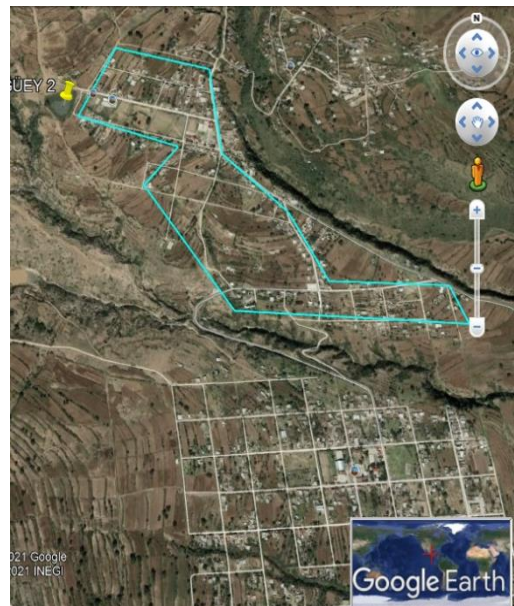
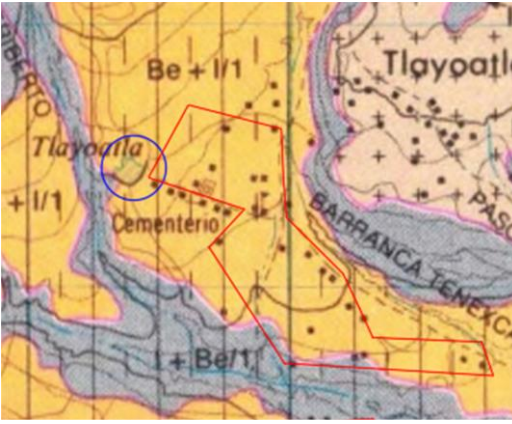
Estructuras similares cercanas a la zona de estudio


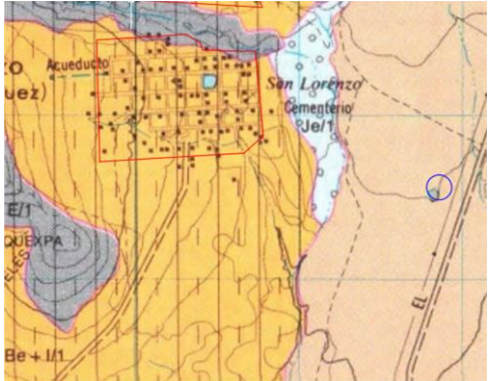
Para la zona de estudio se propone el diseño de un jagüey debido a la frecuencia con la que son aplicados en comunidades cercanas a la comunidad de Benito Juárez, aunque en su mayoría son destinados como abrevaderos para el ganado. Tomando como referencia la carta edafológica Tepatlaxco E14B44 se colocan las coordenadas UTM proporcionadas por Google Earth para obtener el tipo de suelo que se tiene para cada Jagüey.

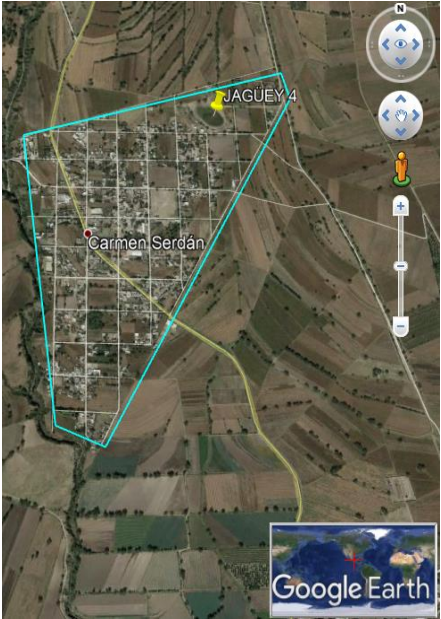
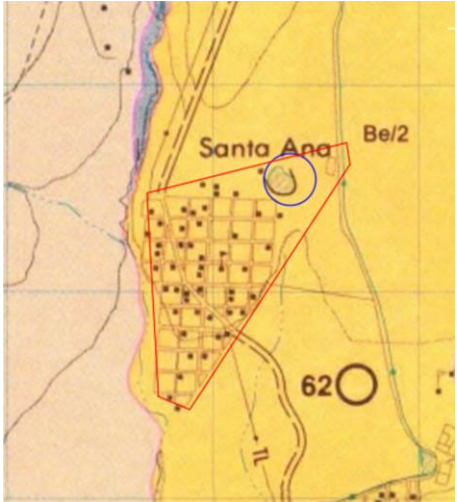
A continuación, se presentan datos generales de la ubicación de cada uno de los jagüeyes cercanos a la zona de estudio, dentro de los datos se menciona la localidad y la distancia a partir de la comunidad de Benito Juárez, así como el uso que se le da a cada estructura y el funcionamiento actual de cada uno.

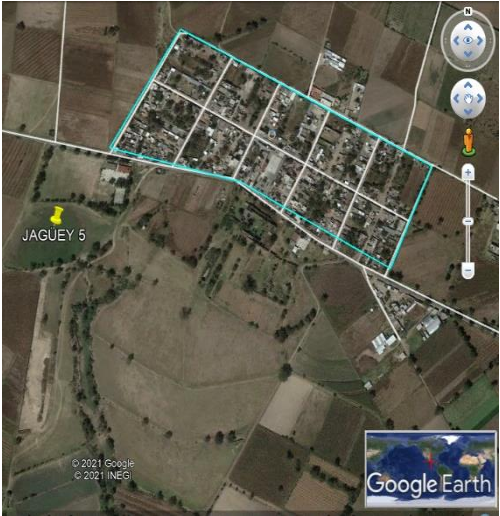
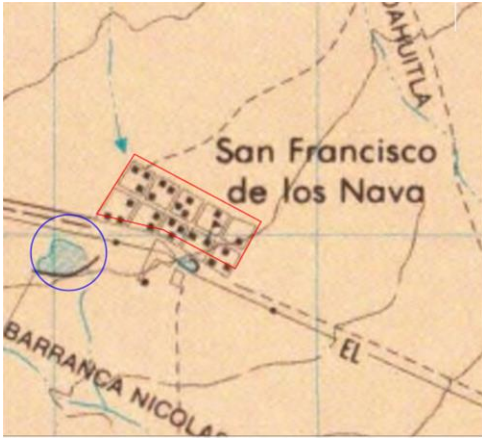
Información individual de Jagüeyes



Vista General del Jagüey	Carta edafológica	
		
<p>Número de Jagüey: 1 Comunidad: San Pedro la Hoya</p>	<p>Distancia: 5.66 km Uso: Abrevadero</p>	<p>Funcionamiento: Activo Tipo de suelo: Feozem</p>

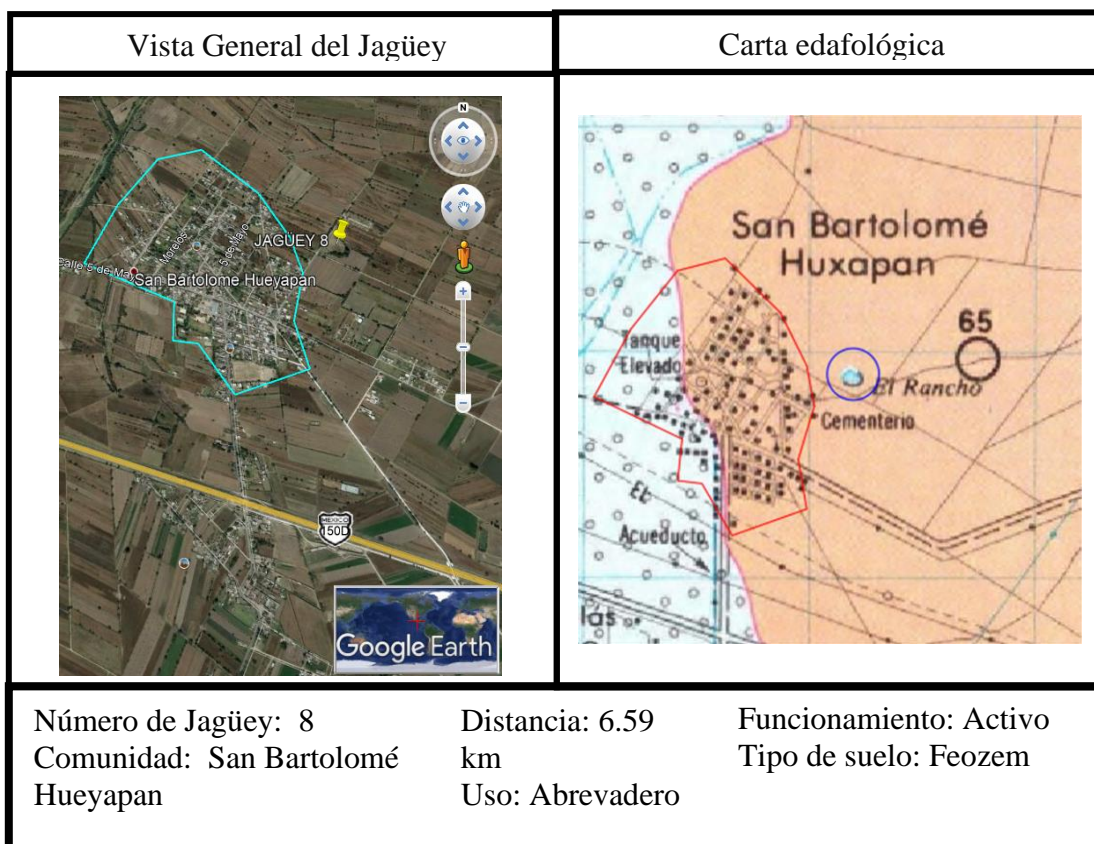
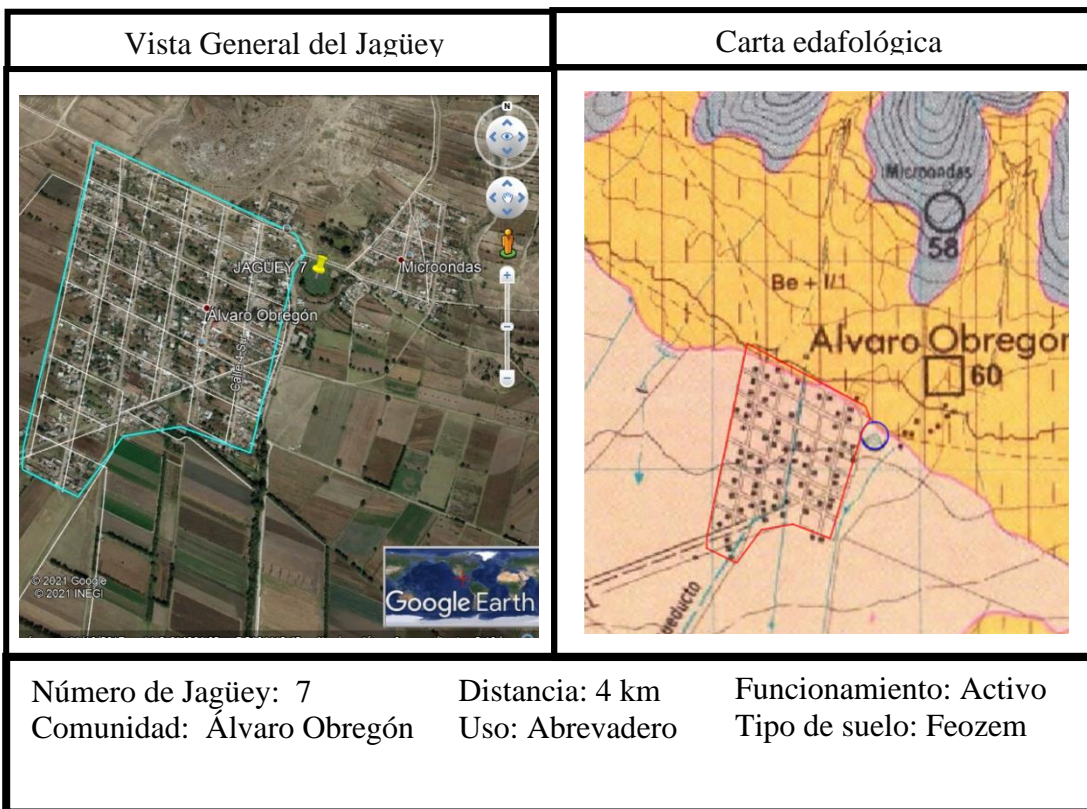
Vista General del Jagüey	Carta edafológica	
		
<p>Número de Jagüey: 2 Comunidad: San Miguel Tlayoatla</p>	<p>Distancia: 4.77 km Uso: Abrevadero</p>	<p>Funcionamiento: Activo Tipo de suelo: Cambisol</p>

Vista General del Jagüey	Carta edafológica	
		
<p>Número de Jagüey: 3 Comunidad: San Lorenzo la Joya</p>	<p>Distancia: 3.55 km Uso: Abrevadero</p>	<p>Funcionamiento: Activo Tipo de suelo: Feozem</p>

Vista General del Jagüey	Carta edafológica	
		
<p>Número de Jagüey: 4 Comunidad: Carmen Serdán</p>	<p>Distancia: 5.88 km Uso: Abrevadero</p>	<p>Funcionamiento: Activo Tipo de suelo: Cambisol</p>

Vista General del Jagüey	Carta edafológica	
		
<p>Número de Jagüey: 5 Comunidad: San Francisco Los Nava</p>	<p>Distancia: 2.30 km Uso: Abrevadero</p>	<p>Funcionamiento: Activo Tipo de suelo: Feozem</p>

Vista General del Jagüey	Carta edafológica	
		
<p>Número de Jagüey: 6 Comunidad: San Felipe Tenextepec</p>	<p>Distancia: 1.76 km Uso: Abrevadero</p>	<p>Funcionamiento: Activo Tipo de suelo: Feozem</p>



Condiciones actuales del jagüey en Benito Juárez

El jagüey tiene un diámetro aproximado de 100 metros y una profundidad de entre 4 a 5 metros.

El jagüey se construyó durante el año 2013 y según información proporcionada por el ayuntamiento auxiliar, de acuerdo a resultados obtenidos durante el proyecto se consideró que el suelo donde se encontraba el jagüey era poco permeable y permitía el almacenamiento del agua, el jagüey estuvo activo durante la primera temporada de lluvia del 2013 entre los meses de mayo a noviembre y en su inauguración a finales del año 2013 se tenía un jagüey a su capacidad máxima durante su primera temporada de lluvia

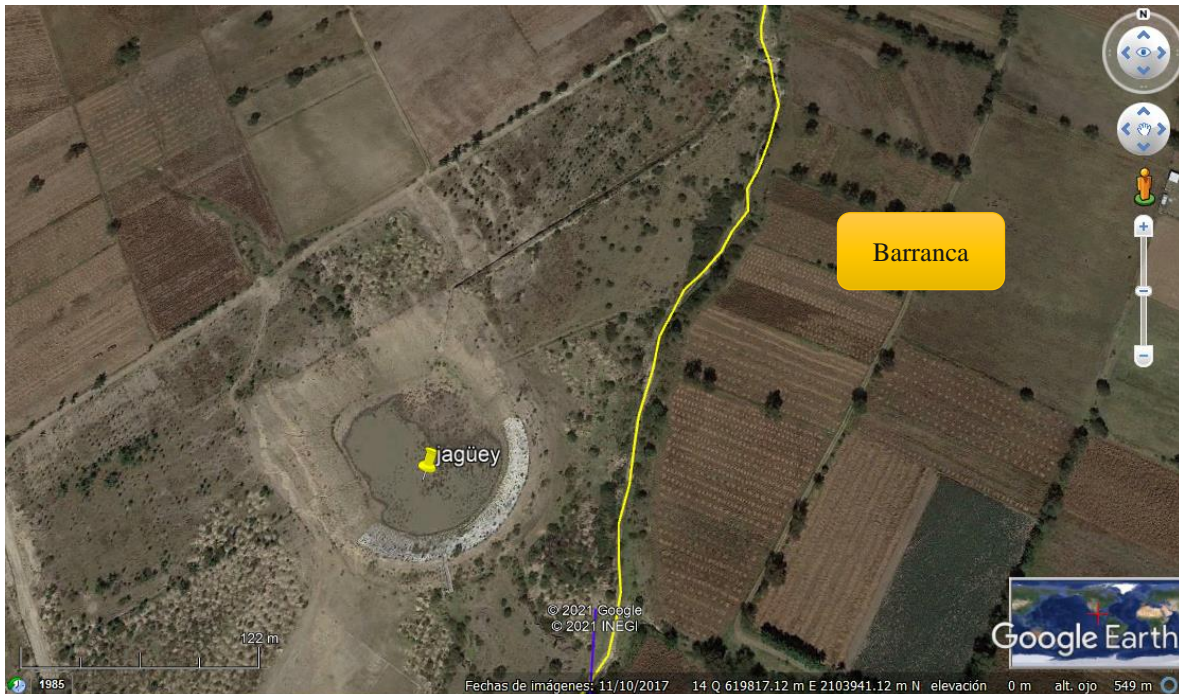


Ilustración 19. Jagüey y barranca Google Earth

Se construyó un canal de derivación con una longitud de 258 metros aproximadamente para llevar el agua proveniente de la barranca hacia el jagüey.

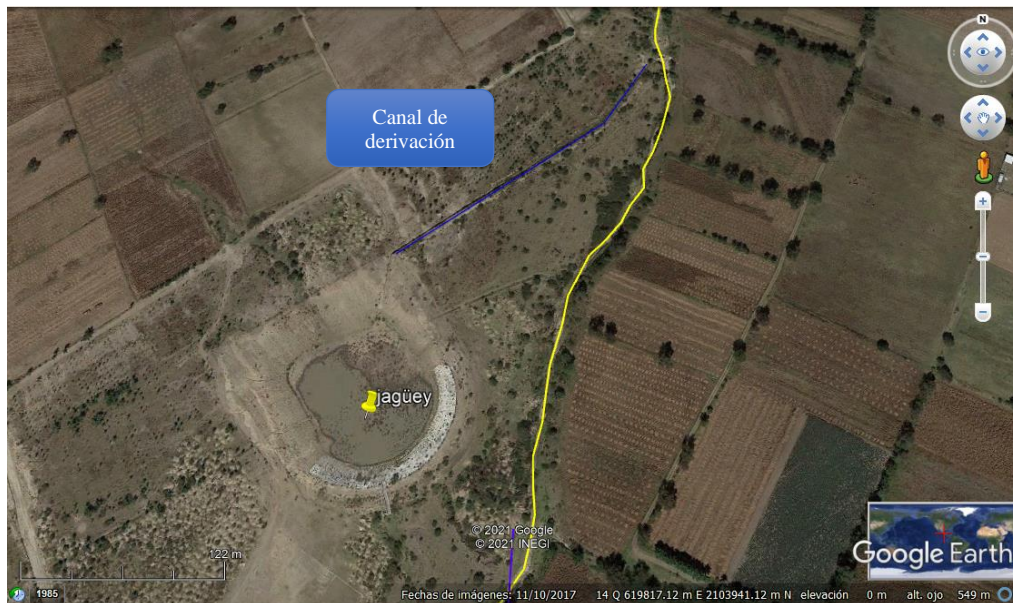


Ilustración 20. Canal de derivación Google Earth

El agua que llega a través de la barranca proviene de escurrimientos superficiales de las comunidades más hacia el norte de Benito Juárez como lo son San Miguel Tlayoatla y San Lorenzo la Joya.



Ilustración 21. Barranca Google Earth

En un recorrido por el área al jaguey se obtuvo la siguiente evidencia

Cauce aguas arriba



Ilustración 22. Foto aguas arriba Fuente: propia

Cauce aguas abajo



Ilustración 23. Foto aguas abajo Fuente: propia

Frontal dique desde aguas abajo



Ilustración 24. Foto dique Fuente: propia

Aguas arriba vista al dique

Lado izquierdo dique



Ilustración 25. Foto Izquierda dique Fuente: propia

lado derecho dique



Ilustración 26. Foto Izquierda dique Fuente: propia

Se observa en la foto que parte del material arrastrado por la corriente se queda en esta parte de la obra.

Canal de derivación y dique



Ilustración 27. Foto Canal de derivación Fuente: propia

Frontal canal



Ilustración 28. Foto Canal de derivación Fuente: propia

Se puede notar que el canal que deriva hacia el jagüey se encuentra un poco más elevado que el del cauce natural de la barranca así que ese factor también influye para desviar agua hacia el jagüey.

Dique y aguas abajo



Ilustración 29. Dique y aguas abajo Fuente: propia

Conexión canal con jagüey



Ilustración 30. Canal Fuente: propia

Vista del jagüey actualmente



Ilustración 31. Foto jagüey 26/junio/2021 Fuente: propia

Se observó que en esta temporada de lluvias 2021, durante sus inicios el jagüey si almacena agua, a pesar de tener lluvias casi constantes en un periodo de un mes, la principal alimentación del jagüey es a través de la barranca, pero sin una obra adecuada que logre derivar el agua este no alcanza una capacidad alta de almacenamiento.

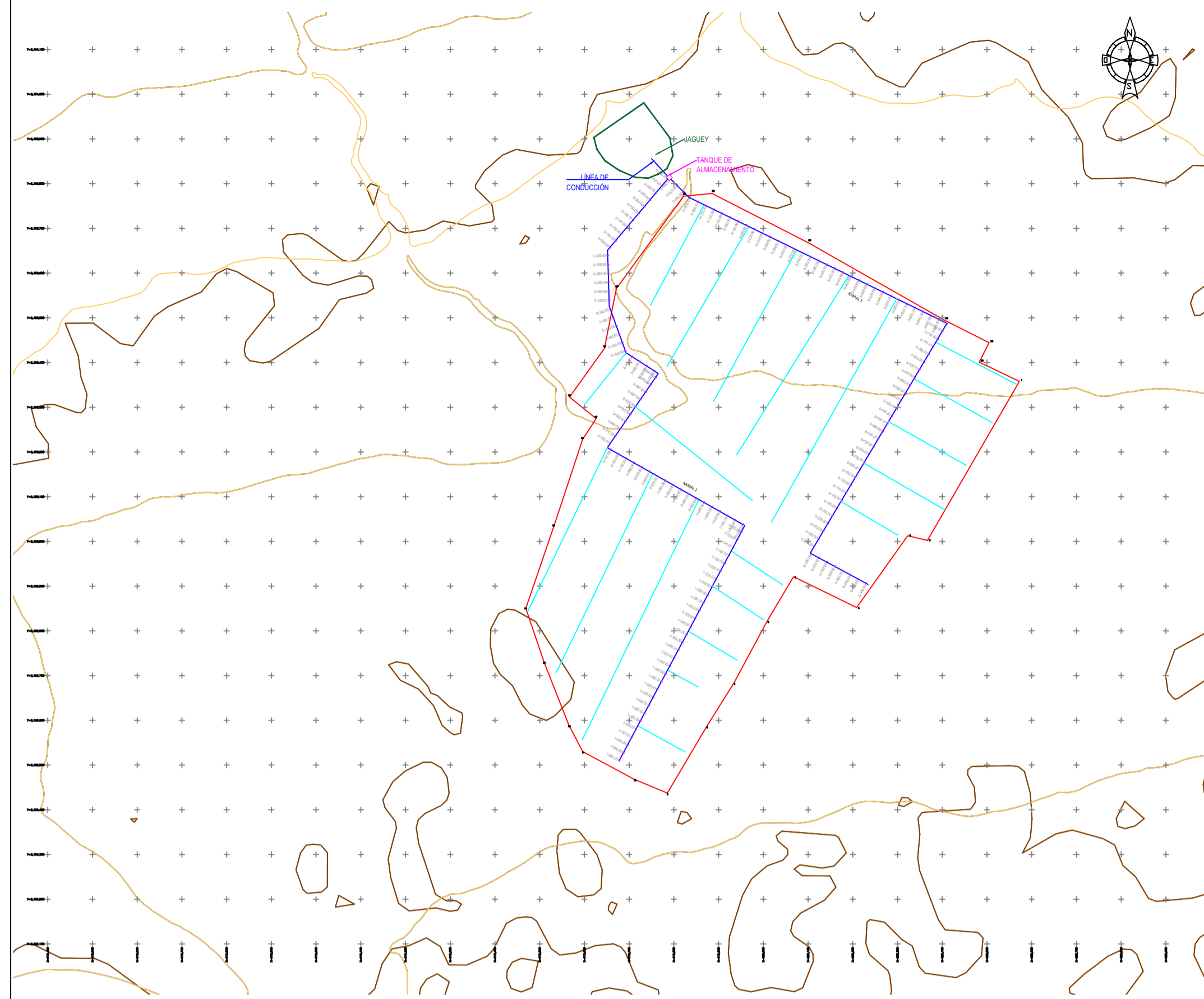
Vertedor de excedencias



Ilustración 32. Foto1, vertedor de excedencias



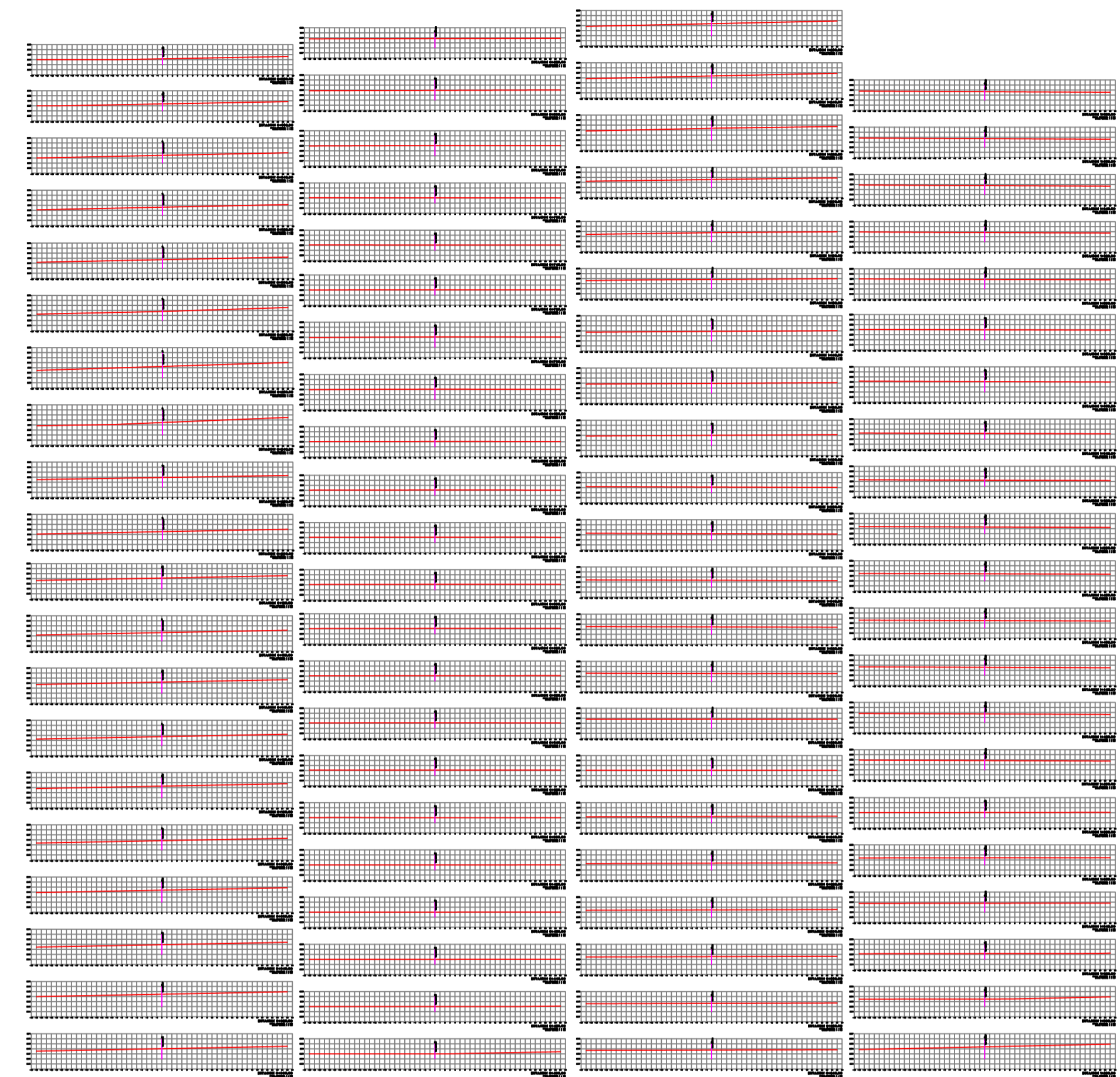
Ilustración 33. Foto 2, vertedor de excedencias



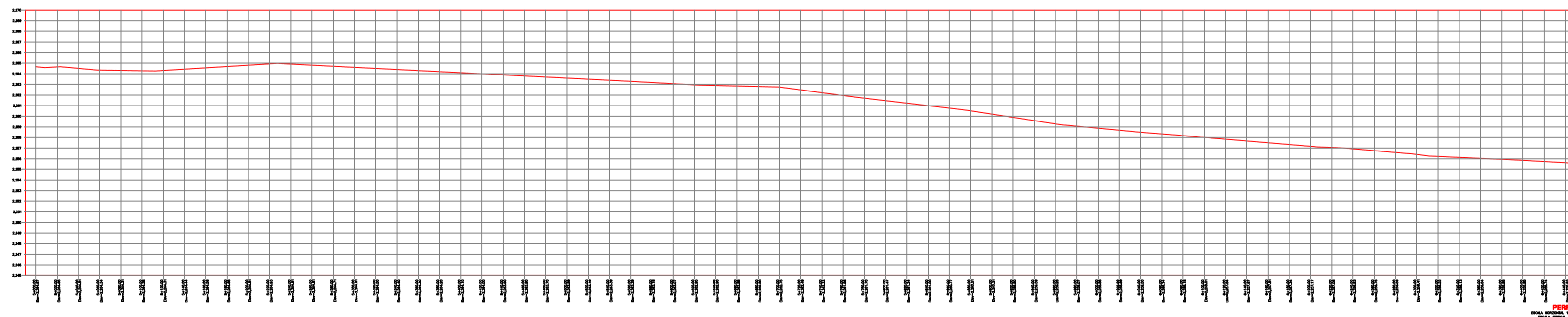
CUADRO DE CONSTRUCCION						
LADO EST	PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
					Y	X
1	2	S 30°01'29.87" W	411.01	1	2,103,357.9943	620,572.4517
2	3	N 76°36'12.89" W	45.30	2	2,103,002.1410	620,366.7930
3	4	S 35°25'24.96" W	196.96	4	2,102,852.1380	620,208.5706
4	5	N 63°55'50.27" W	157.03	5	2,102,921.1456	620,067.5177
5	6	S 30°45'30.99" W	115.23	6	2,102,822.1254	620,008.5868
6	7	S 28°15'02.18" W	157.43	7	2,102,683.4470	619,934.0703
7	8	S 32°00'42.11" W	114.30	8	2,102,586.5272	619,873.4806
8	9	S 30°35'59.83" W	173.42	9	2,102,437.2575	619,785.2028
9	10	N 67°16'14.95" W	80.20	10	2,102,468.2453	619,711.2298
10	11	N 61°44'49.44" W	130.40	11	2,102,529.9722	619,596.3646
11	12	N 27°48'55.09" W	66.30	12	2,102,588.6149	619,565.4258
12	13	N 21°27'55.15" W	151.59	13	2,102,729.6884	619,509.9541
13	14	N 18°45'01.01" W	127.57	14	2,102,850.4889	619,468.9472
14	15	N 18°52'34.71" E	194.63	15	2,103,034.6509	619,531.9149
15	16	N 18°17'01.61" E	203.79	16	2,103,228.1542	619,595.8492
16	17	N 33°05'45.79" E	55.59	17	2,103,274.7216	619,626.2015
17	18	N 51°06'47.98" W	76.46	18	2,103,322.7219	619,566.6858
18	19	N 35°34'32.98" E	133.91	19	2,103,431.6360	619,644.5911
19	20	N 11°21'02.64" E	136.41	20	2,103,565.3749	619,671.4380
20	21	N 36°02'23.35" E	255.53	21	2,103,772.0014	619,821.7805
21	22	N 84°35'34.08" E	63.82	22	2,103,778.0150	619,885.3123
22	23	S 62°52'04.45" E	240.76	23	2,103,668.2178	620,099.5788
23	24	S 60°23'22.74" E	350.30	24	2,103,495.1373	620,404.1274
24	25	S 63°10'14.80" E	112.67	25	2,103,444.2854	620,504.6697
25	26	S 26°51'59.52" W	48.72	26	2,103,400.8255	620,482.6531
26	1	S 64°30'01.02" E	99.49	1	2,103,357.9943	620,572.4517

SUPERFICIE = 807,965.38 m2

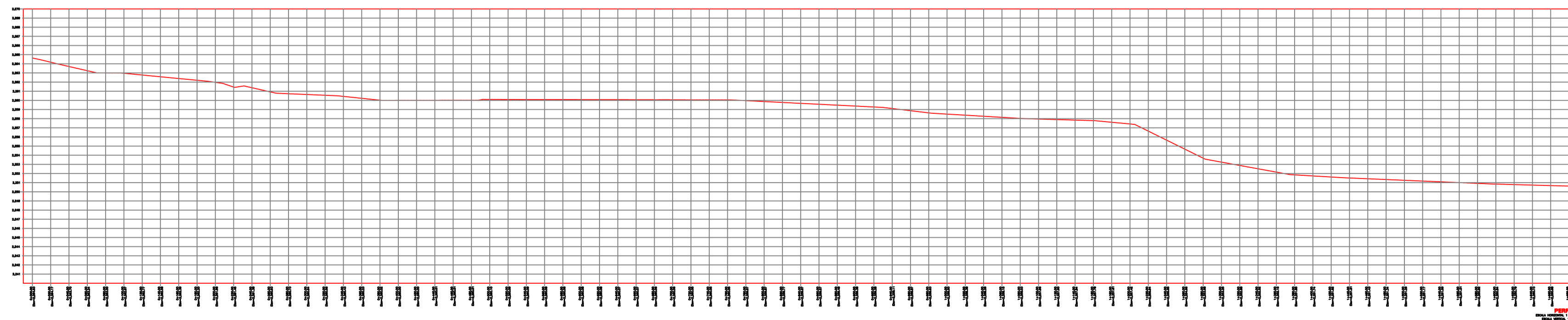
SECCIONES TRANSVERSALES SECCIONES MAÍZ Y FRIJOL



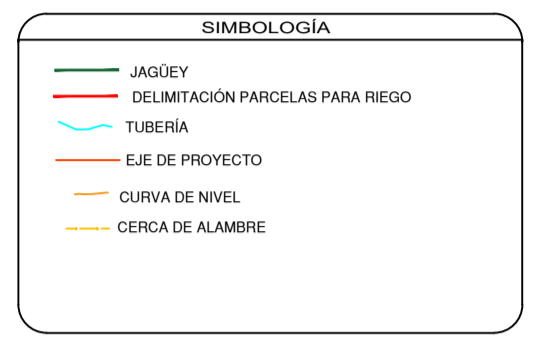
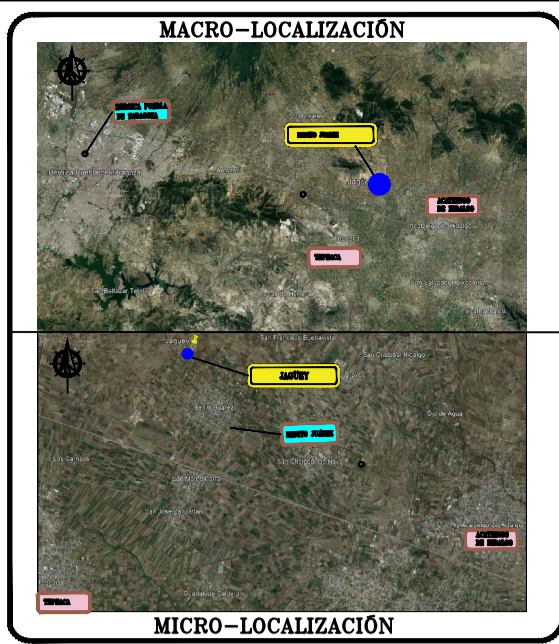
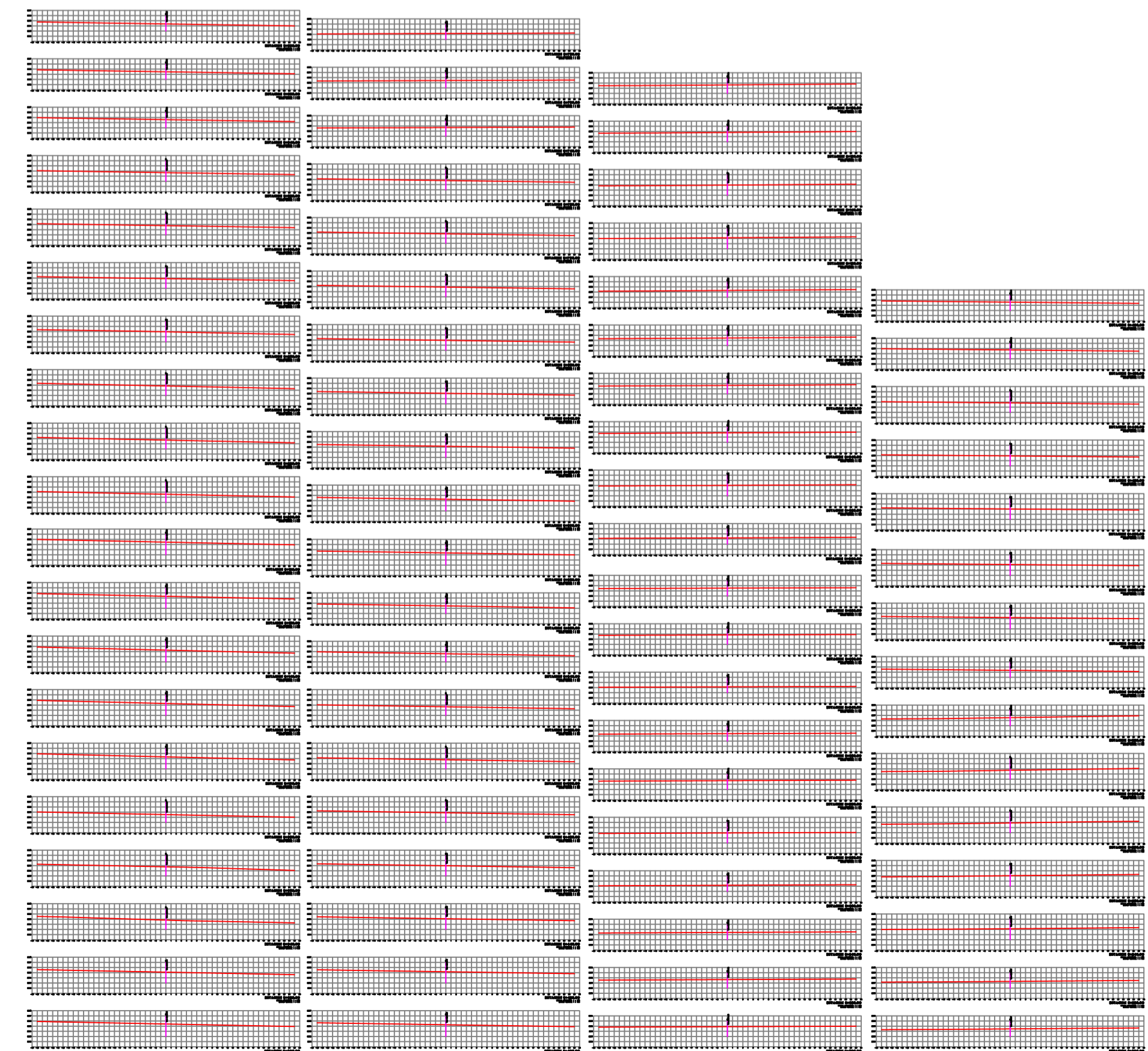
PERFILES LONGITUDINALES PERFIL HORTALIZAS



PERFIL MAÍZ Y FRIJOL



SECCIONES HORTALIZAS



SIMBOLOGÍA

- JALQUEY
- DELIMITACION PARCELAS PARA RIEGO
- TUBERIA
- EJE DE PROYECTO
- CURVA DE NIVEL
- CERCA DE ALAMBRE

Capítulo III. Análisis previos

En este capítulo se desarrollará los cálculos necesarios previos necesarios para el dimensionamiento del jagüey.

Análisis hidrológico

Determinación de la cuenca

La cuenca que se considera se toma de la carta topográfica del INEGI E14B44 e Tepatlaxco y se traza el parteaguas, con ayuda del Software AutoCAD se obtienen los datos para longitud del parteaguas, área de influencia y longitud del cauce principal

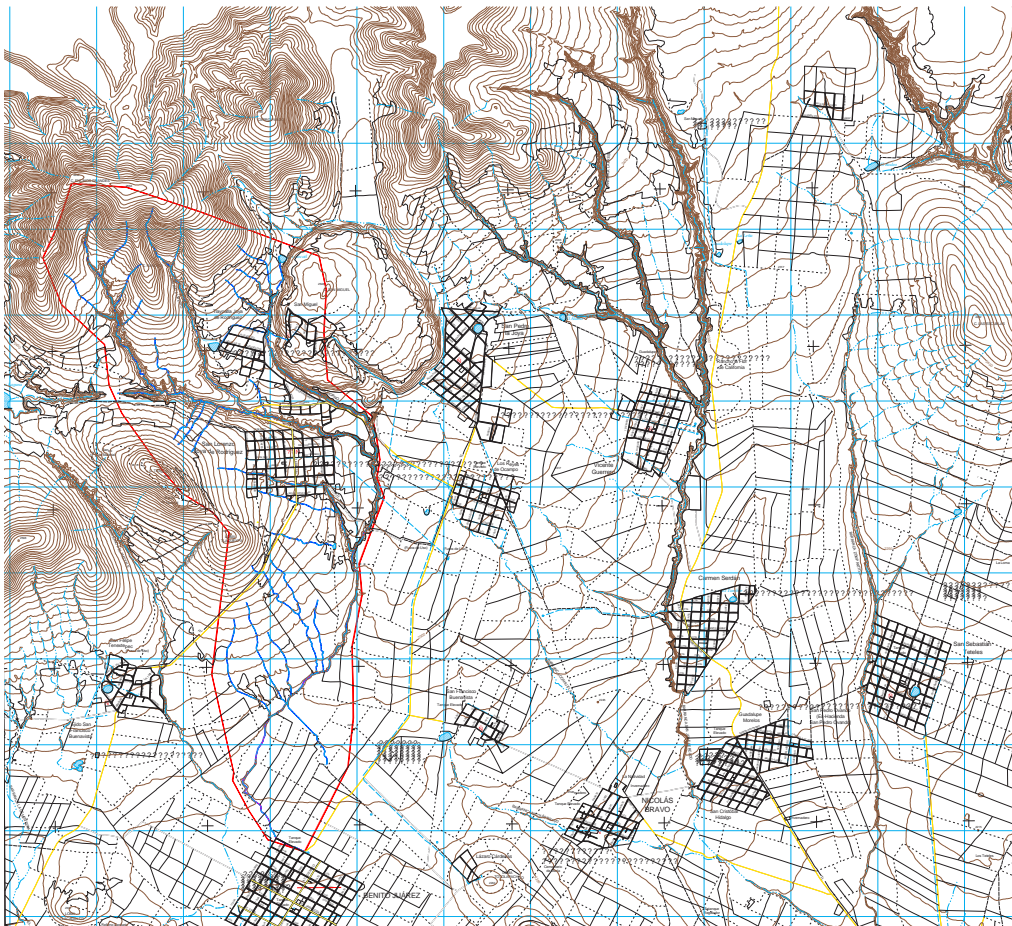


Ilustración 34. Carta topográfica E14B44 e

Tabla 23. Datos cuenca

Área (km ²)	15.63
Perímetro (km)	19.75
Orden de corrientes	4.00
Longitud de cauce principal (km)	10.93

Análisis de precipitaciones

Una vez determinada la cuenca, se considera que las estaciones que influirán sobre la cuenca son las más cercanas, en este caso se seleccionan las estaciones de Tepeaca (21086), Acajete (21136), Vista Hermosa (21100) y Acajete (21136), se extrae la información de climatología diaria que se encuentra en la página del Servicio Meteorológico Nacional y se obtienen los máximos para cada año, para aquellos años en donde la información no sea suficiente el dato se obtendrá por promedio o regresión lineal, hasta tener un periodo considerable de datos, en este caso con los datos obtenidos se logró obtener un intervalo de 30 años con el cual se realizarán los análisis.

Se analiza cada estación con las funciones de probabilidad que se mencionaron en el capítulo 1 y los resultados se presentan en el anexo 1.

Estación Tepeaca

Tabla 24. Datos de precipitaciones estación Tepeaca

Clave =	21086
PMD (anual)	71.11 mm
=	
Nombre:	TEPEACA, PUEBLA

1967	44.00
1968	53.70
1969	41.26
1970	54.20
1971	46.80
1972	54.00
1973	64.30
1974	29.60
1975	39.00
1976	65.00
1977	42.00
1978	62.00
1979	33.00
1980	43.00
1981	43.00

1982	54.50
1983	68.50
1984	58.00
1985	42.00
1986	47.30
1987	36.66
1988	71.11
1989	38.10
1990	37.16
1991	43.30
1992	40.19
1993	37.37
1994	40.13
1995	49.72
1996	44.92

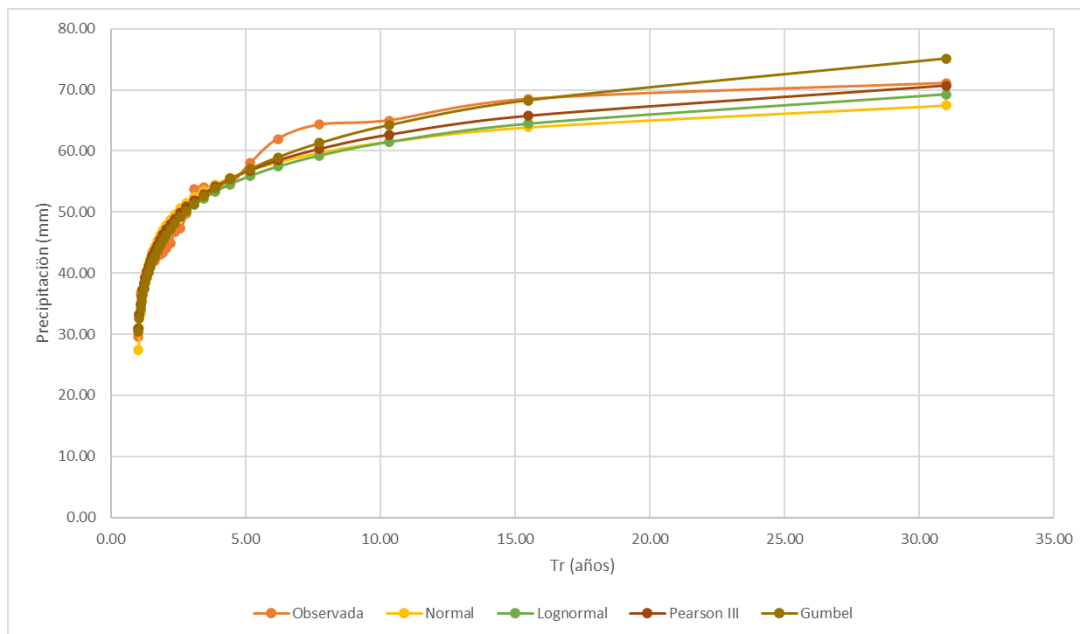


Ilustración 35. Comparativa análisis probabilísticos en estación Tepeaca

Estación Vista Hermosa

Tabla 25. Datos de precipitaciones estación Vista Hermosa

Clave =	21100
PMD (anual) =	99.03 mm
Nombre:	VISTA HERMOSA, PUEBLA

1967	61.30
1968	58.70
1969	47.80
1970	58.60
1971	36.30
1972	67.40
1973	68.60
1974	39.00
1975	48.80
1976	57.50
1977	68.40
1978	61.70
1979	75.30
1980	38.90
1981	87.30

1982	35.00
1983	57.33
1984	45.60
1985	38.40
1986	40.20
1987	28.30
1988	99.03
1989	33.66
1990	39.41
1991	30.69
1992	33.66
1993	39.60
1994	34.88
1995	20.22
1996	27.56

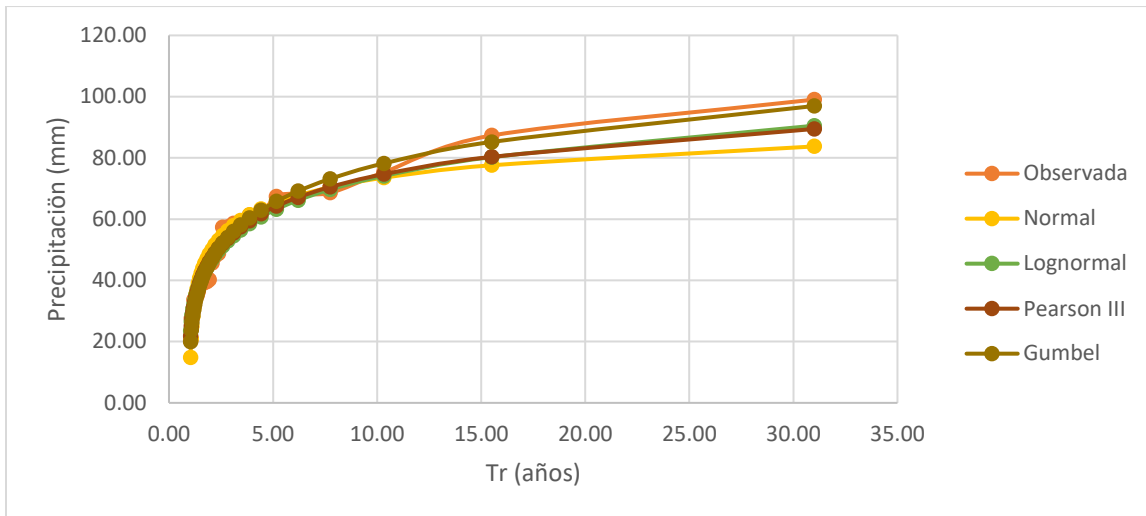


Ilustración 36. Comparativa análisis probabilísticos estación Vista Hermosa

Estación Acajete

Tabla 26. Datos de precipitación estación Acajete

Clave =	21136
PMD (anual) =	82.00 mm
Nombre:	ACAJETE, PUEBLA

1967	42.43
1968	60.47
1969	40.99
1970	48.27
1971	47.37
1972	59.63
1973	57.63
1974	42.53
1975	42.00
1976	56.67
1977	50.13
1978	61.23
1979	54.00
1980	40.63
1981	59.43

1982	47.93
1983	39.00
1984	52.37
1985	45.13
1986	45.00
1987	42.00
1988	82.00
1989	38.00
1990	41.87
1991	36.00
1992	38.00
1993	42.00
1994	38.82
1995	28.95
1996	33.90

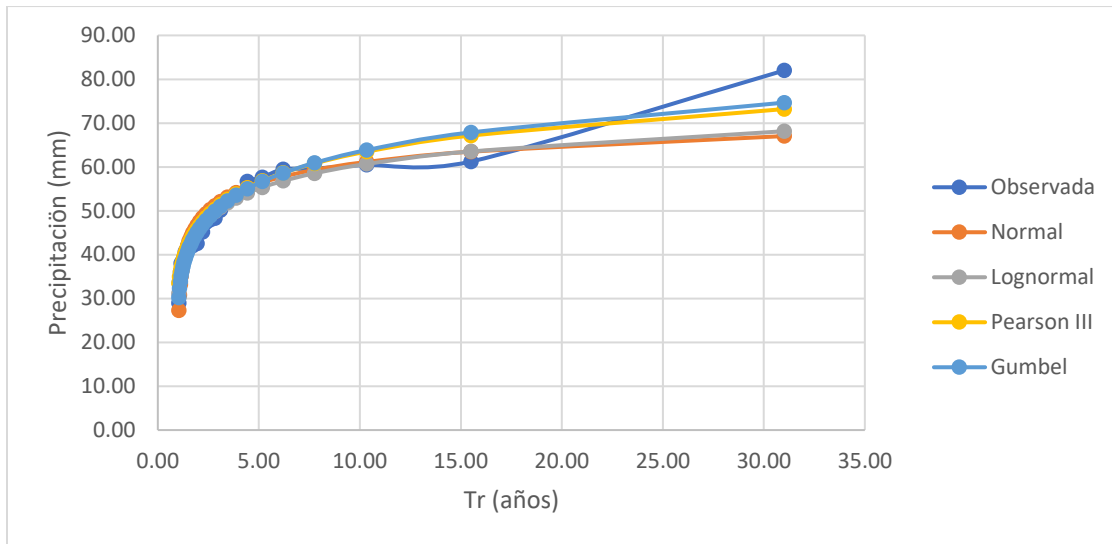


Ilustración 37. Comparativa análisis probabilísticos estación Acajete

Estación Acatzingo de Hidalgo

Tabla 27. Datos de precipitaciones en estación Acatzingo

Clave =	21005
PMD (anual) =	100.00 mm
Nombre:	ACATZINGO, PUEBLA

1967	22
1968	69
1969	35
1970	32
1971	59
1972	57.5
1973	40
1974	59
1975	35.5
1976	47.5
1977	40
1978	60
1979	53.7
1980	40
1981	48

1982	54.3
1983	64.5
1984	53.5
1985	55
1986	41.2
1987	39.7
1988	32.3
1989	36.6
1990	30.2
1991	63.2
1992	48.9
1993	30.5
1994	46.7
1995	100
1996	73.3

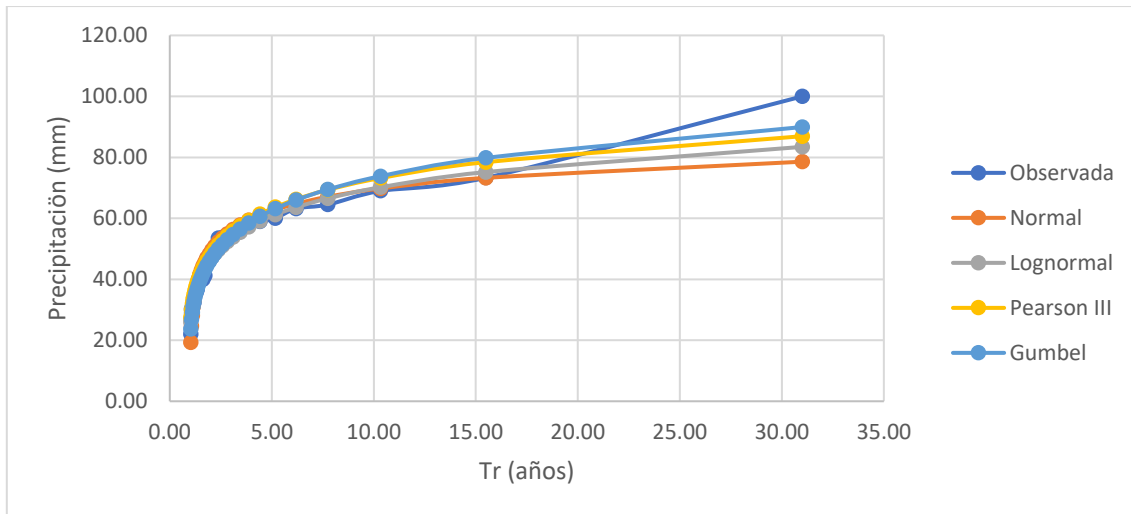


Ilustración 38. Comparativo análisis probabilísticos estación Acatzingo

Una vez realizados los análisis probabilísticos se obtienen los errores cuadráticos para seleccionar con que distribución se trabajara en el análisis hidrológico.

Tabla 28. Error cuadrático en estaciones climatológicas

ESTACIÓN	N O R M A L	LOGNORMAL	PEARSON III	GUMBEL
Tepeaca	Ec = 14.23	Ec = 11.70	Ec = 10.44	Ec = 8.93
Vista Hermosa	Ec = 19.36	Ec = 13.04	Ec = 12.66	Ec = 12.55
Acajete	Ec = 10.77	Ec = 6.65	Ec = 8.03	Ec = 6.87
Acatzingo	Ec = 10.65	Ec = 8.85	Ec = 9.90	Ec = 7.60

ESTACIÓN	DISTRIBUCIÓN	ESTACIÓN	DISTRIBUCIÓN
Tepeaca	Gumbel	Acajete	Log normal
Vista Hermosa	Gumbel	Acatzingo	Gumbel

Pendiente media

Una vez analizadas las precipitaciones para cada estación se obtiene otro parámetro importante de la cuenca que influye sobre el análisis.

La pendiente media se obtendrá a través del método de Taylor – Schwarz

Tabla 29. Pendiente media Taylor -Schwarz

Sc=	1.87%
------------	--------------

De los resultados podemos obtener que la pendiente que se empleará en el análisis es de 1.87%.

Con el cálculo de la pendiente media se continua con la obtención del tiempo de concentración empleando la fórmula de Kirpich.

Tabla 30. Tiempo de concentración.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN		
DATOS		
Lc =	10928.03	m
PENDIENTE (Sc)	0.02	
Tc	1.92	hrs
Tc	115.39	minutos

A partir de los parámetros establecidos se tiene que el tiempo de concentración que se empleará será de 115.39 minutos

Curvas P-D-Tr e I-D-Tr

Los datos que se han obtenido desde el inicio de este apartado servirán para la obtención de las Curvas P-D-Tr e I-D-Tr.

De acuerdo con los análisis de las precipitaciones que se analizaron y seleccionado la distribución de acuerdo a la tabla 28 para cada estación, con interpolación se obtienen precipitaciones ajustadas para periodos de retorno de 2 años mientras que el área de influencia de cada una se obtiene a través de polígonos de Thiessen.

Tabla 31. Precipitación ajustada a un periodo de retorno de 2 años.

Estación	Nombre	FUNCIÓN (Fx)	P ₂ (mm)	Área de influencia		P ₂ (mm) promedio
				(km ²)	%	
21005	ACATZINGO	GUMBEL	46.45	6.94	0.44	20.64
21086	TEPEACA	GUMBEL	45.79	5.30	0.34	15.53
21136	ACAJETE	LOGNORMAL	46.06	3.38	0.22	9.97
21100	VISTA HERMOSA	GUMBEL	46.42	0.00	0.00	0.00
Total				15.63	1.00	46.14

De la tabla anterior se tiene que la precipitación promedio para un periodo de retorno de 2 años es de **46.14 mm**

Se continúa con el análisis de la precipitación con $d = 1$ hora y $Tr = 2$ años, para la obtención de la precipitación se realizará a través del método del US Weather Service y el método de Herschfield.

Método del US Weather Service

Tabla 32. Datos método US Weather Service

Número medio anual de días con lluvia	77.55
Precipitación media anual máximas diarias	87.82

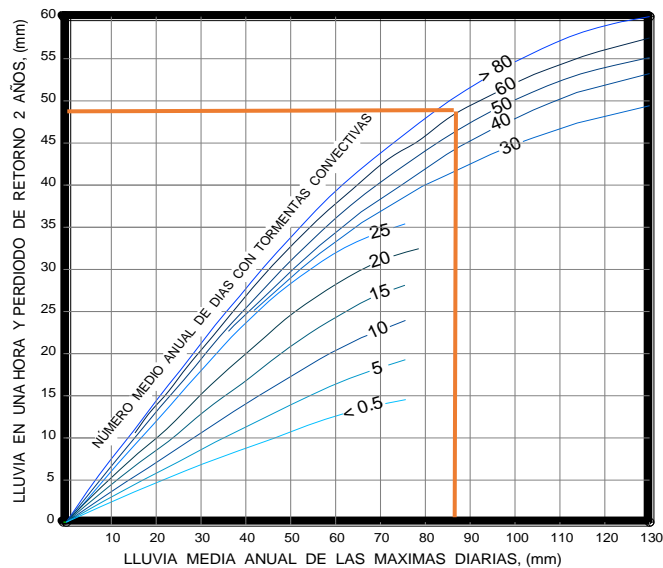


Ilustración 39. Gráfica precipitación $d = 1$ hora y $Tr = 2$ años

De la gráfica se obtiene **P = 47.00 mm**

Método de Herschfield

Con este método se obtiene **P=27.69 mm**

Con el análisis de ambos métodos se obtienen un valor promedio que será el que se empleará en el posterior análisis.

Valor de P_2^{60} , para el cálculo de las curvas $p - d - tr$

$P_2^{60} = 37.34 \text{ mm}$

Para la obtención de datos de las curvas P-D-Tr se aplicará la fórmula de Bell

Tabla 33. Precipitaciones aplicando fórmula de Bell

Periodo de retorno (Tr)	Duraciones en minutos								
	Años	5.00	10.00	20.00	40.00	60.00	100.00	120.00	
2.00	11.51	17.23	24.03	32.12	37.55	45.21	48.19		47.54
5.00	15.19	22.74	31.72	42.40	49.56	59.68	63.61		62.75
10.00	17.98	26.91	37.54	50.17	58.64	70.62	75.27		74.26
25.00	21.66	32.43	45.23	60.45	70.66	85.08	90.69		89.46
50.00	24.45	36.60	51.04	68.22	79.74	96.02	102.35		100.97
100.00	27.23	40.77	56.86	76.00	88.83	106.96	114.01		112.47
200.00	30.02	44.94	62.67	83.77	97.91	117.90	125.67		123.98
500.00	33.70	50.45	70.36	94.04	109.92	132.36	141.09		139.18
1000.00	36.49	54.62	76.18	101.82	119.01	143.30	152.75		150.69
10000.00	45.74	68.47	95.50	127.64	149.19	179.65	191.49		188.90

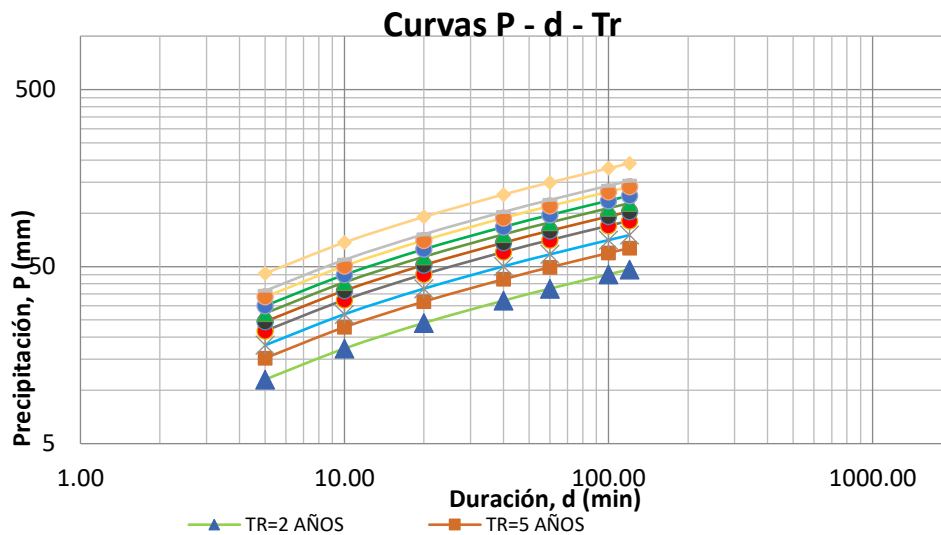


Ilustración 40. Gráfica curvas P-D- Tr

Obtención de curvas I-D-Tr

Tabla 34. Obtención de intensidades

Periodo de retorno (Tr)	Duraciones en minutos								
	Años	5.00	10.00	20.00	40.00	60.00	100.00	120.00	115.39
2.00	138.15	103.39	72.10	48.19	37.55	27.13	24.10		24.72
5.00	182.34	136.47	95.17	63.60	49.56	35.81	31.81		32.63
10.00	215.76	161.49	112.62	75.26	58.64	42.37	37.64		38.61
25.00	259.95	194.56	135.68	90.67	70.66	51.05	45.34		46.52
50.00	293.38	219.58	153.13	102.33	79.74	57.61	51.18		52.50
100.00	326.81	244.60	170.57	113.99	88.83	64.18	57.01		58.48
200.00	360.24	269.62	188.02	125.65	97.91	70.74	62.84		64.46
500.00	404.43	302.69	211.09	141.07	109.92	79.42	70.55		72.37
1000.00	437.85	327.71	228.53	152.73	119.01	85.98	76.38		78.35
10000.00	548.90	410.82	286.49	191.46	149.19	107.79	95.75		98.22

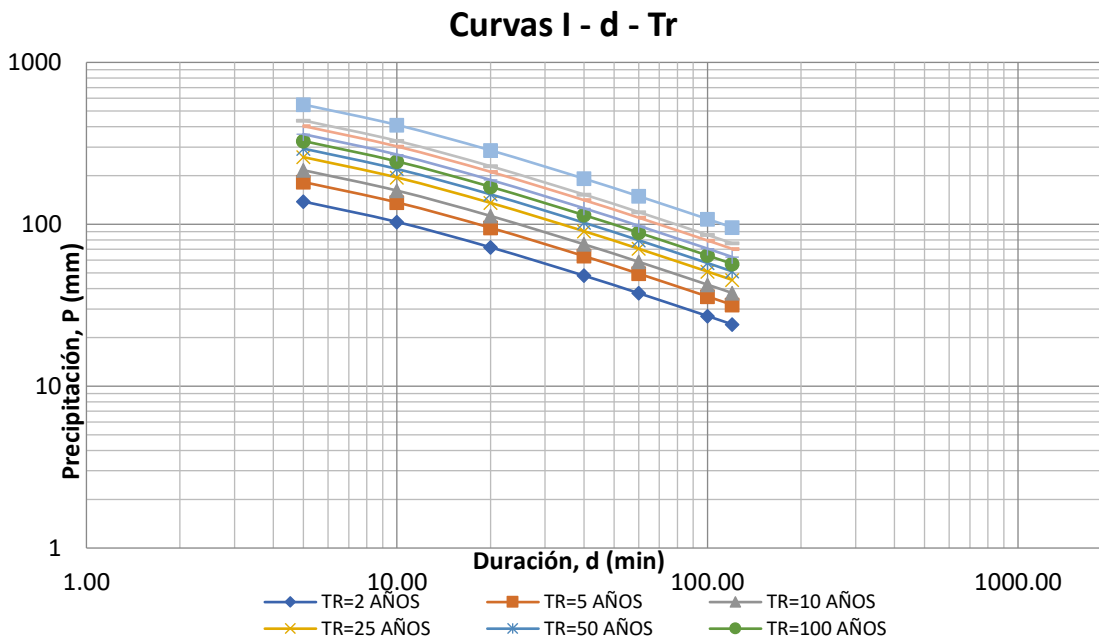


Ilustración 41. Curvas I-D-Tr

Precipitación efectiva

Número de escurrimiento N

Para poder obtener los valores de precipitación efectiva primero se analizará el tipo de suelo que influye sobre la cuenca.

Para ello se aplicará la carta de uso de suelo y vegetación Tepatlaxco E14B44 y de ahí se trazarán las áreas de cada tipo de suelo sobre la cuenca (ilustración 42. Uso de suelo en la cuenca). Las áreas se obtuvieron con ayuda de AutoCAD.

Una vez que se determinaron los tipos de suelo sobre la cuenca y considerando la carta de uso de suelo y vegetación de acuerdo a la zona de estudio, se seleccionan características para determinar el número de curva de acuerdo a la tabla 15. Valor del número de escurrimiento N según uso y tipo de suelo en nuestra cuenca, se realizará la selección con ayuda de la tabla que se presentó en el Capítulo I, los valores seleccionados se presentan en la tabla 35. Selección del número de escurrimiento N.

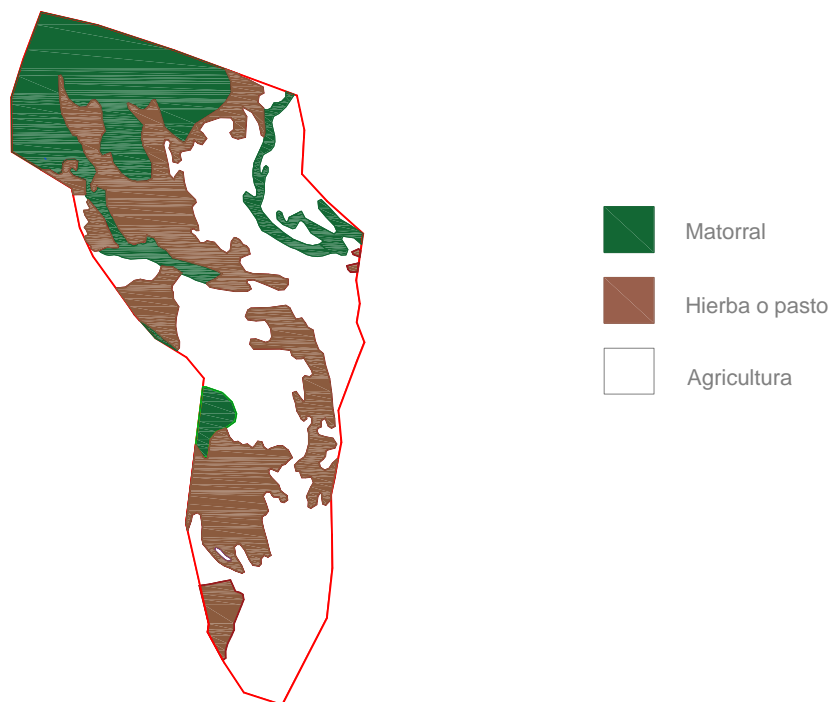


Ilustración 42. Uso de Suelo en la cuenca

Tabla 35. Selección de número de escurrimiento N

Carta edafológica	Carta uso de suelo y vegetación	Clasificación de suelo	Práctica o tratamiento	Condición hidrológica	Número de curva (N)
Be (Cambisol eutrico)	Matorral	A	-	Mala	48.00
HL (Feozem Luvico)	Hierba o pasto	B	-	Buena	35.00
I (Litosol)	Agricultura	A	En contorno y terrazas, cultivo de conservación	Buena	71.00

Ahora se realiza un cálculo donde se toman las áreas de cada tipo de uso de suelo que se obtuvieron y su número de escurrimiento N correspondiente, con la finalidad de aplicar un valor general en la obtención de la precipitación efectiva.

Tabla 36. Valor de N

Tipo de Terreno	Área			Tipo de suelo	Número "N"	N*A%
	m ²	km ²	%			
MATORRAL	3750896.72	3.75	0.24	A	48.00	11.52
PASTIZAL INDUCIDO	4410902.33	4.41	0.28	B	35.00	9.88
TERRENOS DE CULTIVO	7463382.65	7.46	0.48	A	71.00	33.91
Área Total		15.63	1.00		N	55.32

En los datos obtenidos en la Tabla 33. Precipitaciones aplicando la fórmula de Bell, se obtuvieron precipitaciones para distintos periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 y 10000 años) y para una duración determinada por el tiempo de concentración en donde se obtuvo anteriormente de $T_c=115.39$ min, una vez obtenidos estos datos, en base a nuestros registros de precipitación de las

estaciones que se consideran para la zona de estudio, se busca y obtenemos la lluvia acumulada de 5 días anteriores de la lluvia que más se ajuste a nuestra precipitación, para realizar la corrección del número de escurrimiento N pertinente de acuerdo a los parámetros de la tabla 14. Factor de corrección del número de escurrimiento N, según la precipitación antecedente y así obtener la precipitación efectiva para cada periodo de retorno.

Tabla 37. Obtención de precipitación efectiva

Periodo de retorno (Tr)	Tiempo de concentración (min)	Precipitación mm (P)	Lluvia excedente (cm)	Corrección	N corregido	Precipitación efectiva mm (Pe)
2	115.39	47.54	0.97	A	33.74	16.14
5	115.39	62.75	0	A	33.74	27.13
10	115.39	74.26	1.55	A	33.74	36.2
25	115.39	89.46	0	A	33.74	48.84
50	115.39	100.97	1.2	A	33.74	58.78
100	115.39	112.47	0	A	33.74	68.95
200	115.39	123.98	0	A	33.74	79.3
500	115.39	139.18	0	A	33.74	93.22
1000	115.39	150.69	0	A	33.74	103.89
10000	115.39	188.9	0	A	33.74	139.92

Cálculo de gastos

Gasto método racional

Aplicando la metodología que se describió con anterioridad se obtienen los siguientes resultados para el método racional.

De la tabla 33. Precipitaciones aplicando la fórmula de Bell obtenemos los datos de precipitación para los periodos de retorno y de la tabla 37. Obtención de la precipitación efectiva tomamos los datos de Pe que se obtuvieron de acuerdo al tiempo de concentración, los datos se utilizaran en la obtención del coeficiente de escurrimiento.

Tabla 38. Cálculo del coeficiente de escurrimiento

Periodo de retorno (Tr)	Tiempo de concentración (min)	Precipitación mm (P)	Precipitación efectiva mm (Pe)	Coeficiente de escurrimiento
2.00	115.39	47.54	16.14	0.34
5.00	115.39	62.75	27.13	0.43
10.00	115.39	74.26	36.20	0.49
25.00	115.39	89.46	48.84	0.55

Tabla 39. Continuación tabla 40

Periodo de retorno (Tr)	Tiempo de concentración (min)	Precipitación mm (P)	Precipitación efectiva mm (Pe)	Coeficiente de escurrimiento
50.00	115.39	100.97	58.78	0.58
100.00	115.39	112.47	68.95	0.61
200.00	115.39	123.98	79.30	0.64
500.00	115.39	139.18	93.22	0.67
1000.00	115.39	150.69	103.89	0.69
10000.00	115.39	188.90	139.92	0.74

Una vez que se obtuvieron los coeficientes de escurrimiento se continúa con el cálculo del gasto de acuerdo al método racional.

Tabla 40. Cálculo del gasto máximo método racional

Ac =	15.63	Km ²
------	-------	-----------------

Tr (Años)	Ac (km ²)	i (mm/hr)	Ce	gasto máximo (Qp) (m ³ /s)
2.00	15.63	24.72	0.34	36.45
5.00	15.63	32.63	0.43	61.28
10.00	15.63	38.61	0.49	81.75
25.00	15.63	46.52	0.55	110.31
50.00	15.63	52.50	0.58	132.75
100.00	15.63	58.48	0.61	155.72
200.00	15.63	64.46	0.64	179.11
500.00	15.63	72.37	0.67	210.55
1000.00	15.63	78.35	0.69	234.64
10000.00	15.63	98.22	0.74	316.03

Hidrograma unitario

Se consideran los datos que se obtuvieron con anterioridad, como lo es el área de la cuenca y el tiempo de concentración, además de calcularse el gasto pico y el tiempo pico.

Tabla 41. Datos previos para análisis método del hidrograma unitario

Ac =	15.63	Km ²
Tc =	1.92	hrs

tp =	2.54	hrs
qp =	1.28	m ³ /s/mm

Aplicando la metodología descrita se obtienen resultados que se muestran en la tabla 42. Resultados hidrograma unitario, los datos se grafican y se presentan en la siguiente ilustración.

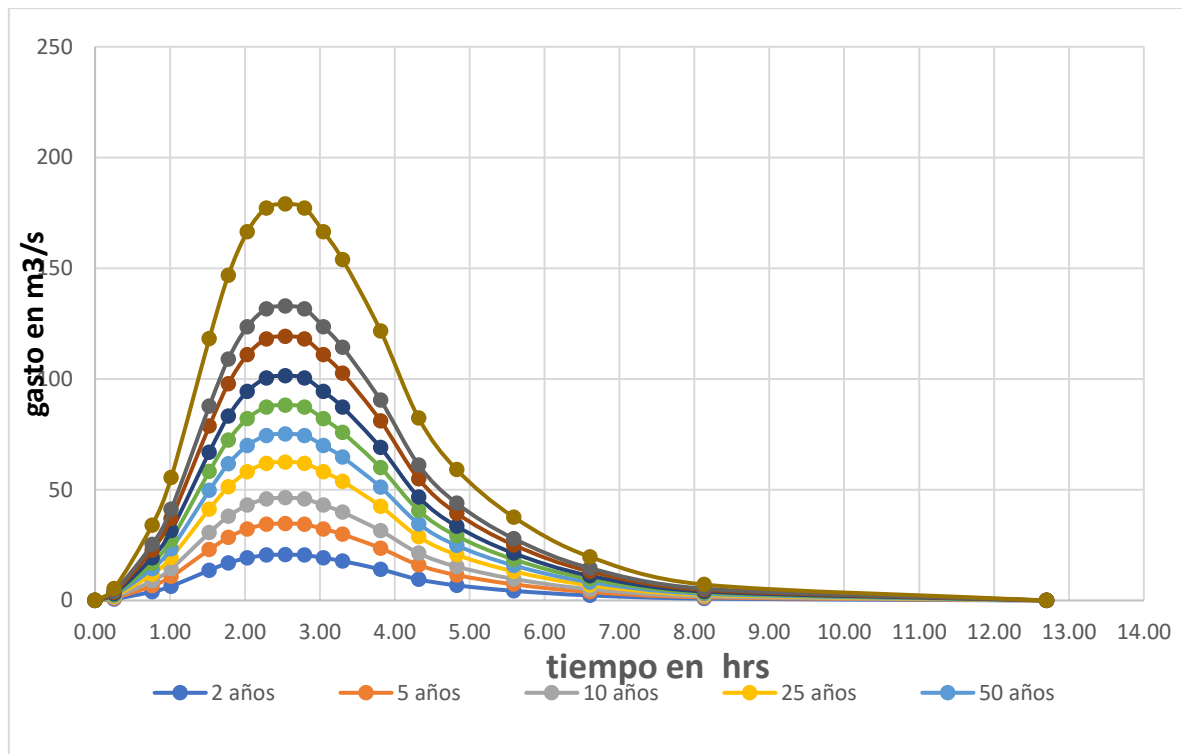


Ilustración 43. Grafica de resultados método hidrograma unitario

Gasto método de Chow

Se consideran datos previos para el cálculo, en este método debe de calcularse el tiempo de retraso, los demás datos necesarios ya fueron definidos con anterioridad.

Se obtuvo que el tiempo de retraso es $TL = 1.59$ hrs.

Tabla 43. Datos método de Chow

DATOS		
Lc =	10928.03	m
PENDIENTE (Sc)	0.02	1.87 %
Tc	1.93	hrs
Tc	115.93	min
TL	1.59	hrs
Ac	15.63	Km ²

Realizando la metodología descrita se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 44. Gastos método de Chow

Tr (Años)	P mm	Pe mm	de	de/tl	Z	qp m ³ /s/mm	Qp m ³ /s
2.00	47.54	16.14	2.78	1.75	0.92	1.44	23.20
5.00	62.75	27.13	2.78	1.75	0.92	1.44	39.00
10.00	74.26	36.20	2.78	1.75	0.92	1.44	52.02
25.00	89.46	48.84	2.78	1.75	0.92	1.44	70.20
50.00	100.97	58.78	2.78	1.75	0.92	1.44	84.47
100.00	112.47	68.95	2.78	1.75	0.92	1.44	99.09
200.00	123.98	79.30	2.78	1.75	0.92	1.44	113.98
500.00	139.18	93.22	2.78	1.75	0.92	1.44	133.98
1000.00	150.69	103.89	2.78	1.75	0.92	1.44	149.31
10000.00	188.90	139.92	2.78	1.75	0.92	1.44	201.11

En base a los métodos analizados se realiza una comparativa entre estos.

Tabla 45. Comparativa obtención de gastos

Tr (Años)	Gasto máximo (Qp) m ³ /s		
	RACIONAL	HUA	CHOW
2.00	36.45	20.65	23.20
5.00	61.28	34.71	39.00
10.00	81.75	46.30	52.02
25.00	110.31	62.48	70.20
50.00	132.75	75.18	84.47
100.00	155.72	88.19	99.09
200.00	179.11	101.44	113.98
500.00	210.55	119.25	133.98
1000.00	234.64	132.89	149.31
10000.00	316.03	178.99	201.11

De acuerdo a los análisis el método racional es el que tiene valores más altos y por lo tanto se consideran estos resultados para el dimensionamiento del jagüey.

Una vez conocidos los valores de gastos que puede aportar la cuenca también será necesario conocer cuál es la demanda de los cultivos que se seleccionaron para considerar si lo aportado en la cuenca logra satisfacer la demanda de los cultivos.

Análisis de uso consuntivo

Como se definió en el capítulo II, los cultivos que se analizan son hortalizas, frijol y maíz.

Para el análisis del uso consuntivo se usarán los datos de la estación más cercana a la zona de cultivo, en este caso se selecciona la estación de Acatzingo de Hidalgo (21005), a continuación, se presentan los datos correspondientes a la estación.

Tabla 46. Estación Acatzingo de Hidalgo

Estación	21005 Acatzingo de Hidalgo		
Latitud	18	59	38
Longitud	97	48	20

Latitud en decimales	19.617
----------------------	--------

Además de esta misma estación se toman los valores de temperatura y precipitación media normales para cada mes del año. Y se presentan en la tabla 47. Valores de

temperatura y precipitación media, estos valores son obtenidos de la información estadística climatológica otorgadas de la página del sistema meteorológico nacional (SMN).

Tabla 47. Valores de temperatura y precipitación media

Mes	T media (°C)	hp media (mm)
Enero	13	14.1
Febrero	14.2	15.4
Marzo	16.1	9.2
Abril	18.2	34.9
Mayo	18.9	90.2
Junio	18.3	140.3
Julio	17.5	81.3
Agosto	17.7	70.1
Septiembre	17.3	113.5
Octubre	16.2	49.9
Noviembre	14.7	11.8
Diciembre	13.5	10.3

Una vez definidos los cultivos con ayuda de la tabla 2. Coeficiente global de desarrollo que se estableció en el capítulo I, se seleccionan los valores de KG de acuerdo a los meses fríos y cálidos y los valores de las respectivas consideraciones se muestran en la tabla 48. Valores de KG seleccionados.

Tabla 48. Valores de KG seleccionados

Cultivo Seleccionado	KG seleccionado		
	valores de KG	Meses fríos	meses cálidos
hortalizas	0.6	0.6	
frijol	0.60 - 0.70	0.6	0.7
Maíz	0.60 - 0.70	0.6	0.7

Otros valores que se requieren son los de eficiencia de riego, eficiencia de manejo de agua, coeficiente de infiltración y coeficiente de aprovechamiento en la zona radicular.

Recordemos que para a eficiencia de riego se selecciona mediante aspersión así que con apoyo de la tabla 7. Eficiencia del sistema relativo al manejo y aplicación

de riego se selecciona el valor del 75%. Mientras que para el valor de la eficiencia de manejo de agua se tomará que es del 60%, este es un valor que se considera de acuerdo a los criterios del diseñador, pero generalmente se recomienda el valor planteado. En cuanto al coeficiente de infiltración se obtuvo considerando la ecuación 4. Coeficiente de infiltración en donde $K_p = 0.15$ dado que la pendiente de la zona de cultivos se considera algo plana considerando el levantamiento topográfico, $K_v = 0.1$ debido a que se consideran terrenos de cultivo y finalmente $K_{fc} = 0.54$ ya que se estableció que el suelo que predomina sobre los la zona de cultivo es arcilloso y se planteó una infiltración básica de 5 mm/h.

De este último parámetro de coeficiente de aprovechamiento en la zona radicular se tiene para las hortalizas un rango de 0.2 a 0.45, para el frijol 0.45 y para el maíz 0.5, así que para este caso se uniformiza para facilitar los cálculos y se considera 0.5 que sería el que presenta valores más desfavorables.

Los valores antes descritos se presentan en la siguiente tabla, estos valores influirán sobre el análisis más adelante.

Tabla 49. Valores para el cálculo de C.U.R.

Valores para cálculo de C.U.R	
Eficiencia de riego η_r	0.75
Eficiencia de manejo de agua η_m	0.6
Coeficiente de infiltración (KI)	0.79
Coeficiente de aprovechamiento en la zona radicular (KR)	0.5

De acuerdo a la carta edafológica y como se describió anteriormente, el tipo de suelo que se presenta para la zona en donde se van a destinar los cultivos es arcillosa, así que con ayuda de la tabla 3. Propiedades físicas de los suelos se tienen las propiedades para el tipo de suelo que se presenta en la zona y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 50. Propiedades físicas del suelo arcilloso

Propiedades físicas de los suelos	
Textura del suelo	Arcilloso
Densidad aparente (g/cm ³)	1.25
Capacidad de campo (% 0 g)	35
Punto marchitez permanente (% 0 g)	17
Infiltración básica (mm/h)	5

Ya que se definieron los datos base necesarios, se continua con el análisis del uso consuntivo.

En el análisis del uso consuntivo se establece de acuerdo a los datos de latitud en decimales presentado en la tabla 46. Estación Acatzingo de Hidalgo correspondiente al valor de 19.617, se puede notar que la tabla 6. Porcentaje de horas de sol del mes con respecto al año que los valores que presenta son valores enteros con sus respectivos valores para cada mes del año, así que se deberán realizar interpolaciones en cada mes del año considerando el valor antes mencionado.

Los valores obtenidos de temperatura y las interpolaciones realizadas se muestran en la tabla 51. Cálculo del uso consuntivo, así como los valores seleccionados de KG en cada cultivo y el factor de temperatura y luminosidad (F) de cada mes.

Con esos parámetros ya obtenidos se continua con el cálculo de ETP en cada cultivo para posteriormente obtener el acumulado de los tres, en la tabla 52. Continuación tabla 51 se muestran los resultados obtenidos, así como la altura de la precipitación efectiva (ill), este último valor mencionado influirá sobre la obtención de las láminas de riego neta y bruta, cabe mencionan que las unidades de las láminas de riego se consideran en mm. La información obtenida de las láminas se presenta en la tabla 53. Continuación tabla 52. En donde se calcularon laminas brutas de cada cultivo, para cada mes del año

Tabla 51. Cálculo de uso consuntivo

Mes	Temperatura	X1	X2	Y1	Y2	P (%) interpolado	F	Valor de KG		
								hortalizas	frijol	Maíz
Enero	13	19	20	7.79	7.74	7.76	10.962	0.6		
Febrero	14.2	19	20	7.28	7.25	7.26	10.659	0.6	0.6	
Marzo	16.1	19	20	8.41	8.41	8.41	13.078	0.6	0.6	
Abril	18.2	19	20	8.51	8.52	8.52	14.063	0.6	0.6	0.6
Mayo	18.9	19	20	9.11	9.15	9.13	15.378	0.6	0.7	0.7
Junio	18.3	19	20	8.97	9	8.99	14.885	0.6	0.7	0.7
Julio	17.5	19	20	9.2	9.25	9.23	14.947	0.6	0.7	0.7
Agosto	17.7	19	20	8.92	8.96	8.94	14.566	0.6	0.7	0.7
Septiembre	17.3	19	20	8.28	8.3	8.29	13.351	0.6	0.7	0.7
Octubre	16.2	19	20	8.19	8.18	8.18	12.764	0.6		0.6
Noviembre	14.7	19	20	7.63	7.58	7.6	11.329	0.6		
Diciembre	13.5	19	20	7.71	7.66	7.68	11.026	0.6		

Tabla 52. Continuación tabla 51

Mes	Valor de ETP (cm)			ETP (Acumulado)		Días	hp (mm)	KI	KR	ill efectiva (mm)
	hortalizas	frijol	Maíz	(cm)	(mm)		mm			
Enero	6.577	0.000	0.000	6.577	65.775	31.000	14.100	0.787	0.500	5.547
Febrero	6.395	6.395	0.000	12.791	127.909	28.000	15.400	0.787	0.500	6.058
Marzo	7.847	7.847	0.000	15.694	156.935	31.000	9.200	0.787	0.500	3.619
Abril	8.438	8.438	8.438	25.314	253.141	30.000	34.900	0.787	0.500	13.729
Mayo	9.227	10.765	10.765	30.756	307.562	31.000	90.200	0.787	0.500	35.484
Junio	8.931	10.419	10.419	29.769	297.693	30.000	140.300	0.787	0.500	55.193
Julio	8.968	10.463	10.463	29.894	298.944	31.000	81.300	0.787	0.500	31.983
Agosto	8.740	10.196	10.196	29.132	291.317	31.000	70.100	0.787	0.500	27.577
Septiembre	8.011	9.346	9.346	26.703	267.028	30.000	113.500	0.787	0.500	44.650
Octubre	7.658	0.000	7.658	15.317	153.165	31.000	49.900	0.787	0.500	19.630
Noviembre	6.797	0.000	0.000	6.797	67.974	30.000	11.800	0.787	0.500	4.642
Diciembre	6.615	0.000	0.000	6.615	66.154	31.000	10.300	0.787	0.500	4.052

Tabla 53. Continuación tablas 52

Mes	ETP (mm)			LR neta (mm)			LR bruta (mm)		
	hortalizas	frijol	Maíz	hortalizas	frijol	Maíz	hortalizas	frijol	Maíz
Enero	65.775	0.000	0.000	60.228	0.000	0.000	133.840	0.000	0.000
Febrero	63.954	63.954	0.000	57.896	57.896	0.000	128.658	128.658	0.000
Marzo	78.468	78.468	0.000	74.848	74.848	0.000	166.330	166.330	0.000
Abril	84.380	84.380	84.380	70.651	70.651	70.651	157.002	157.002	157.002
Mayo	92.269	107.647	107.647	56.785	72.163	72.163	126.188	160.362	160.362
Junio	89.308	104.192	104.192	34.115	49.000	49.000	75.811	108.888	108.888
Julio	89.683	104.630	104.630	57.700	72.648	72.648	128.223	161.439	161.439
Agosto	87.395	101.961	101.961	59.818	74.384	74.384	132.930	165.299	165.299
Septiembre	80.109	93.460	93.460	35.459	48.810	48.810	78.797	108.467	108.467
Octubre	76.583	0.000	76.583	56.952	0.000	56.952	126.561	0.000	126.561
Noviembre	67.974	0.000	0.000	63.332	0.000	0.000	140.738	0.000	0.000
Diciembre	66.154	0.000	0.000	62.102	0.000	0.000	138.004	0.000	0.000

Con los datos obtenidos anteriormente del cálculo del uso consuntivo se realiza un análisis en donde se realiza la sumatoria de las láminas brutas en cada mes de todos los cultivos presentes para el mismo y se selecciona aquel que presente el mayor valor, lo anterior descrito se presenta en la tabla 54. Resumen láminas de riego en donde se visualizan los valores de la precipitación para cada mes, así como la evapotranspiración, la altura efectiva y las láminas netas y brutas. Con esta tabla se toma que el mes que presenta mayores consumos de láminas de riego es abril y por lo tanto los valores que se presentan en este mes son los que regirán para la obtención del coeficiente unitario de riego (C.U.R.)

Tabla 54. Resumen láminas de riego

Mes	hp (mm)	Lámina efectiva (mm)	ETP (mm)			Lámina neta (mm)			Lámina bruta (mm)			sumatoria bruta
			Hortalizas	Frijol	Maíz	Hortalizas	Frijol	Maíz	Hortalizas	Frijol	Maíz	
Enero	14.1	5.547	65.77	0.00	0.00	60.23	0.00	0.00	133.84	0.00	0.00	133.84
Febrero	15.4	6.058	63.95	63.95	0.00	57.90	57.90	0.00	128.66	128.66	0.00	257.32
Marzo	9.2	3.619	78.47	78.47	0.00	74.85	74.85	0.00	166.33	166.33	0.00	332.66
Abril	34.9	13.729	84.38	84.38	84.38	70.65	70.65	70.65	157.00	157.00	157.00	471.01
Mayo	90.2	35.484	92.27	107.65	107.65	56.78	72.16	72.16	126.19	160.36	160.36	446.91
Junio	140.3	55.193	89.31	104.19	104.19	34.12	49.00	49.00	75.81	108.89	108.89	293.59
Julio	81.3	31.983	89.68	104.63	104.63	57.70	72.65	72.65	128.22	161.44	161.44	451.10
Agosto	70.1	27.577	87.40	101.96	101.96	59.82	74.38	74.38	132.93	165.30	165.30	463.53
Septiembre	113.5	44.650	80.11	93.46	93.46	35.46	48.81	48.81	78.80	108.47	108.47	295.73
Octubre	49.9	19.630	76.58	0.00	76.58	56.95	0.00	56.95	126.56	0.00	126.56	253.12
Noviembre	11.8	4.642	67.97	0.00	0.00	63.33	0.00	0.00	140.74	0.00	0.00	140.74
Diciembre	10.3	4.052	66.15	0.00	0.00	62.10	0.00	0.00	138.00	0.00	0.00	138.00

Con los datos ya establecidos se seleccionan la lámina bruta de cada cultivo del mes de abril y se obtiene la lámina bruta diaria, se puede notar que el valor de los tres cultivos es igual y por lo tanto la lámina bruta diaria será igual en los tres cultivos. Posteriormente se obtendrá el volumen demandado para los cultivos, considerando que en las hortalizas se tienen una superficie de 42 hectáreas, para el frijol de 17 hectáreas y para el maíz 18 hectáreas. Con estos datos se obtienen que el valor del C.U.R es de 6.05719E-08 l/s- por hectárea.

Los valores planteados se muestran en la tabla 55. Cálculo del C.U.R, así como el gasto que deberá cubrirse para cada cultivo presentado en l/s.

Tabla 55. Cálculo del C.U.R.

RESUMEN									
Cultivo	Lámina bruta (mm)	Lámina bruta diaria(mm/día)	superficie cultivada (ha)	Superficie acumulada (ha)	volumen demandado (m ³)	volumen acumulado (m ³)	C.U.R	l/s-ha	l/s
Hortalizas	157.00	5.233	42	42	2198.033	2198.033	6.05719E-08	0.606	25.440
Frijol	157.00	5.233	17	59	889.680	3087.713	6.05719E-08	0.606	10.297
Maíz	157.00	5.233	18	77	942.014	4029.727	6.05719E-08	0.606	10.903

De la tabla anterior podemos tomar que el gasto que se deberá cubrir para las hortalizas con una superficie de 42 ha es de 25.440 l/s. para el frijol con una superficie de 17 ha será de 10.297 l/s y para el maíz con superficie de 18 ha será de 10.903 l/s.

Con los datos obtenidos en este capítulo se dimensionará el jagüey considerando los gastos del método racional debido a que es el que arroja valores superiores en comparación a los otros métodos y con los datos obtenidos a partir del análisis consuntivo se diseñará el sistema de riego en el siguiente capítulo.

Capítulo IV. Diseño hidráulico del jagüey y sistema de riego

Con los datos de los capítulos anteriores se obtendrán las dimensiones del jagüey en este capítulo, se analizará de acuerdo las necesidades obtenidas por los cultivos de maíz, frijol y las hortalizas.

Dimensiones del vertedor

Con la información del capítulo, donde se analizó la parte hidrológica de la cuenca, se obtuvieron gastos de diseño de acuerdo a las diferentes metodologías propuestas y se concluyó que se usará la que obtenga valores más altos, debido a que de esta manera se presentaría la condición más desfavorable en cuanto al vertedor de excedencias se refiere, Usando la fórmula de Francis (ecuación 31. Formula de Francis) se determina la carga sobre el vertedor, considerando las recomendaciones de la CONAGUA se plantea que para obras de captación se tenga un periodo de retorno de 20 a 30 años. Para este caso se considera un intermedio de 25 años.

Para determinar la carga sobre el vertedor y de acuerdo a la recomendación de un periodo de retorno de 25 años, se tiene que el gasto corresponde a 110.31 m³/s obtenido del método racional que como se mencionó presenta valores mayores en comparación a los otros métodos.

Tabla 56. Carga sobre el vertedor.

Datos		
Q=	110.31	m ³ /s
C/r=	1.45	
L=	40	m
h_v	1.50	m
Bordo libre	0.2	m
Carga total=	1.70	m

Dimensionamiento del jagüey

Para poder determinar cuáles serán las dimensiones del jagüey se empleará como base el volumen que se obtuvo del análisis del uso consuntivo y teniendo que a

partir de los valores que se obtuvieron mensualmente, se realiza el acumulado para tener un valor anual.

Tabla 57. Volumen acumulado anual.

Mes	Volumen acumulado	
	m ³	Hm ³
Enero	1813.32	0.02
Febrero	2711.02	0.03
Marzo	3165.63	0.03
Abril	4029.73	0.04
Mayo	3520.18	0.04
Junio	2331.72	0.02
Julio	3559.92	0.04
Agosto	3667.26	0.04
Septiembre	2368.61	0.02
Octubre	2449.57	0.02
Noviembre	1970.33	0.02
Diciembre	1869.73	0.02
Volumen=	33457.02	m³

Una vez que se conoce el valor del volumen que pretende almacenar se aplica la formula del cono truncado, proponiendo valores que permitan alcanzar el valor deseado. Para el valor de la altura y el radio superior se hicieron consideraciones de acuerdo los taludes que se recomiendan en la construcción de jagüeyes.

Tabla 58. Dimensiones del jagüey

Dimensiones		
Radio Inferior	38	m
Radio Superior	50	m
Altura	6	m
Volumen	36718.93	m³

Ya que se obtuvieron los valores de las dimensiones, se puede notar que estos son muy similares a los que se encuentran actualmente en la obra, así que solo se modificará para ajustarnos a estas nuevas dimensiones.

Sistema de riego.

También se propondrá un sistema de riego para cubrir las necesidades de los cultivos. Como primer punto para el diseño de red se determinarán los datos iniciales de diseño.

El gasto máximo que tendrá la red será tomado de la tabla 55. Cálculo del C.U.R.

Gasto máximo de diseño= 46.64 l/s

Tiempo de bombeo: 24 hr

Longitud de línea de conducción: 67.9 m

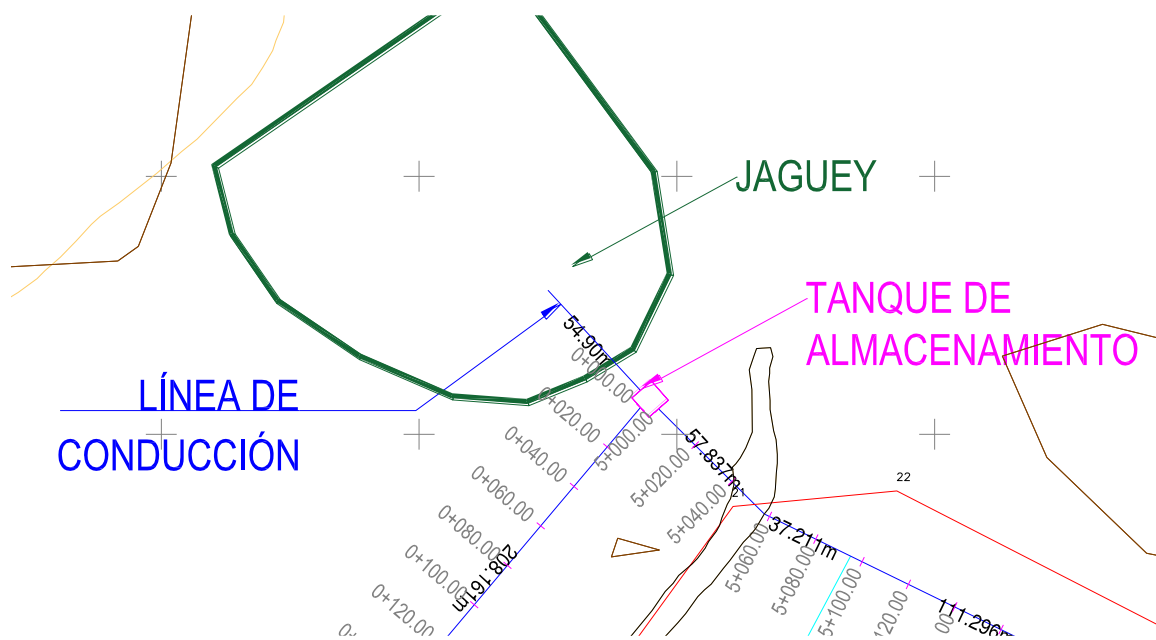


Ilustración 44. Línea de conducción

También se determinan los niveles de proyecto, estos se toman de acuerdo al levantamiento topográfico, además debido a que se presenta una topografía algo plana se recomienda el uso de un tanque elevado para dar presión al sistema de riego que como ya se había mencionado se realizará a través de aspersores.

Tabla 59. Niveles de proyecto

Niveles de proyecto								
Diametro nominal	8	pulgadas	L. Columna	7	m	N.P.T	2279.7301	MSNM
N.T.N (pozo)	2264.926	MSNM	N.D.T	2282.730	MSNM	N.T.N. (TANQ)	2264.7301	MSNM
N.E	2260.926	MSNM	TIRANTE TAN	2	m	HdB=	23.80	m
N.D	2258.926	MSNM	N.S.A.T.	2281.73	MSNM	Manning	0.011	

Se considera un coeficiente de Manning de 0.009 para PVC y 0.011 para acero al carbón.

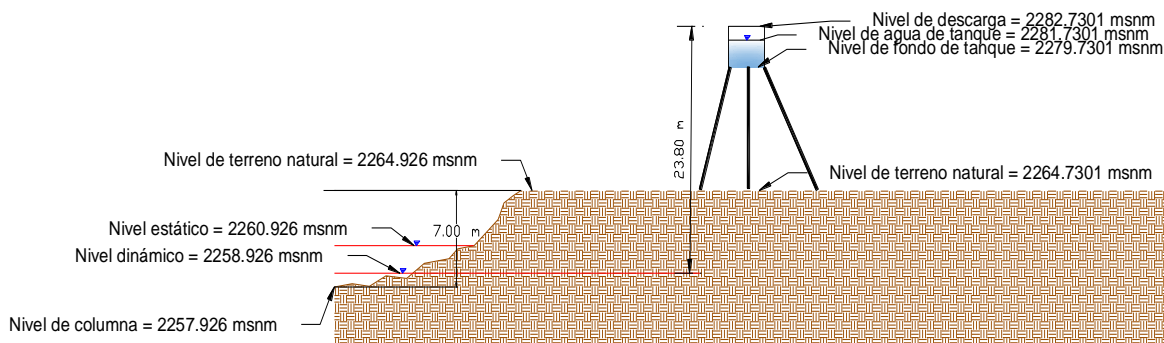


Ilustración 45. Niveles de proyecto

A través de un análisis rápido se termina que el diámetro de 6" es el diámetro que más se aproxima si solo consideramos el gasto y una velocidad supuesta de 2 m/s. con esta consideración se proponen para el cálculo del diámetro económico, un diámetro menor un diámetro superior serán analizados.

En el análisis se considerarán dos opciones para la selección de tubería, el primer análisis será para tubería de PVC mientras que para el segundo se considera acero al carbón.

Diámetro económico tubería PVC.

Del análisis para PVC se establecen los datos de la tubería de acuerdo a catálogos de proveedores.

Tabla 60. Datos de tuberías PVC de acuerdo a catalogo

DIÁMETRO NOMINAL	ESPEJOR TUBERÍA	DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO INTERIOR
mm	mm	Pulg.	Mm
114	4.400	4	106
168	6.500	6	155
219	8.400	8	202

Con los datos de tuberías se procede al cálculo del diámetro económico de acuerdo a la metodología establecida en el Capítulo I.

El cálculo se presenta en la tabla 61. Cálculo del diámetro económico tubería de PVC y la tabla 62. Cálculo del diámetro económico en tubería de acero al carbón, se puede notar que para los diámetros de 4" la potencia de la bomba sale superior, considerando más del doble de los diámetros de 6" y 8", lo que implica que al seleccionar una bomba con mayor potencia se incrementarían considerablemente los costos de materiales y lo que se pretende es mantener bajos los costos de la implementación del sistema.

Con los resultados presentados en las tablas 61 y 62 al final del análisis se puede notar que los resultados en el costo total por operación de bombeo anualizado son muy cercanos los valores considerando que uno es PVC y otro es acero al carbono, pero debido a que se considera en la selección de la bomba el material de acero al carbono para brindar mejores resultados se opta por seleccionar tubería de este material en un diámetro de 8".

Tabla 61. Cálculo diámetro económico tubería PVC

CALCULO DEL DIÁMETRO MAS ECONOMICO DE LÍNEA DE CONDUCCIÓN CABALLAJE

DIÁMETRO NOMINAL	ESPOSOR TUBERÍA	DIÁMETRO NOMINAL	DIAMETRO INTERIOR	ÁREA EN m2	VELOCIDAD	CARGA DE VELOCIDAD	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRÁULICO	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN	PÉRDIDAS LOCALES	PÉRDIDAS TOTALES	CARGA DE SERVICIO	CARGA DINÁMICA TOTAL	EFICIENCIA DE LA BOMBA	POTENCIA DE LA BOMBA
mm	mm	Pulg.	mm	m ²	m/s	m	m	m	m	m	m	m	m	%	H.P
114	4.400	4	106	0.0087	5.335	1.451	0.331	0.026	22.585	2.259	24.844	1.00	51.10	0.75	41.81
168	6.500	6	155	0.0189	2.462	0.309	0.488	0.039	2.872	0.287	3.160	1.00	28.27	0.75	23.13
219	8.400	8	202	0.0321	1.451	0.107	0.636	0.051	0.701	0.070	0.771	1.00	25.68	0.75	21.02

GOLPE DE ARIETE

DIÁMETRO NOMINAL	PRESIÓN DE TRABAJO	DIAMETRO INTERIOR	ESPOSOR DE LA TUBERIA	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL AGUA	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL MATERIAL	DIAM. INT.	ESPOSOR DE PARED	SOBREPRESION $h = \frac{14.5 v}{\sqrt{1 + \frac{E_{ad}}{E_{te}}}}$	HdB (CONDUCCIÓN)	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LA CONDUCCIÓN	PÉRDIDAS TOTALES CONDUCCIÓN	CARGA NORMAL DE OPERACIÓN	PRESIÓN TOTAL EN EL TREN DE DESCARGA	VALVULA CONTRA GOLPE DE ARIETE	TUBERÍA	VÁLVULA
Pulg.	mca	cm	cm	kg/cm ²	kg/cm ²	cm	TUBO (e) cm		m	m	m	m	m		20%	80%
4	141	10.55	0.440	20670	28100	10.55	0.440	179.20	17.804	20.529	22.582	42.84	222.04	SI	44.41	177.63
6	141	15.53	0.650	20670	28100	15.53	0.650	82.84	17.804	2.611	2.872	21.99	104.82	NO	100.00	0.00
8	141	20.23	0.840	20670	28100	20.53	0.690	48.63	17.804	0.637	0.701	19.61	68.25	NO	100.00	0.00

ANÁLISIS DE COSTOS MATERIALES Y M.O.

CONCEPTO	Diámetro (plg): 4.0				Diámetro (plg): 6				Diámetro (plg): 8				CEA ANÁLISIS DEL DIÁMETRO MAS ECONOMICO LOCALIDAD: BENITO JUÁREZ MUNICIPIO: LOS REYES DE JUÁREZ FECHA: ELABORO:		
	Ancho zanja (m):		Clase:		RD-26		Clase:		RD-26		Clase:			RD-26	
	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE			
Suministro de Tubería	69.9	ML	\$ 158.52	11,080.55	69.9	ML	\$ 283.65	19,827.14	69.9	ML	\$ 477.36	33,367.46			
Instalación de tubería	69.9	ML	\$ 15.37	1,074.36	69.9	ML	\$ 23.60	1,649.64	69.9	ML	\$ 31.87	2,227.71			
Limpieza, trazo y nivelación	52.4	M2	\$ 14.19	743.91	55.9	M2	\$ 14.29	799.10	59.4	M2	\$ 14.29	849.04			
Excavación	60.3	M3	\$ 33.97	2,048.01	67.1	M3	\$ 33.97	2,279.52	74.3	M3	\$ 33.97	2,522.91			
Relleno compactado al 85%	60.3	M3	\$ 145.56	8,775.12	67.1	M3	\$ 145.56	9,766.86	74.3	M3	\$ 145.56	10,809.41			
Equipo de bombeo	41.8	H.P.	\$201,567.00	201,567.00	23.1	H.P.	\$120,746.00	120,746.00	21.0	H.P.	\$120,746.00	120,746.00			
COSTO TOTAL DE CONDUCCIÓN				225,288.95				155,068.25				170,522.54			

DIÁMETRO MAS ECONOMICO

4.- ANÁLISIS DE COSTO ANUAL DE BOMBEO

Diámetro	Potencia												
	Potencia		Precio kWh por CFE	Costo por hora de bombeo	Bombeo al día	Carga anual por bombeo	Inversion inicial	Interes anual	Numero de anualidades	Anualidad (a)	Costo Anualizado de la inversion	Costo Total por operación de bombeo anualizado	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
(in)	(m)	H.P.	KWh	(\$/KWh)	(\$/h)	(horas)	(\$/año)	(\$)	(r)	(n)	Actualización	(\$)	(\$)
4	0.1143	41.812	31.179	\$ 1.973	\$ 61.52	24	\$ 538,882.34	\$225,288.95	4.25%	20	7.52%	\$16,946.20	\$555,828.53
6	0.1683	23.135	17.251	\$ 1.973	\$ 34.04	24	\$ 298,164.45	\$155,068.25	4.25%	20	7.52%	\$11,664.21	\$309,828.66
8	0.2191	21.015	15.671	\$ 1.973	\$ 30.92	24	\$ 270,850.18	\$170,522.54	4.25%	20	7.52%	\$12,826.68	\$283,676.86

Diámetro económico tubería de acero al carbón

Tabla 62. Cálculo diámetro económico tubería Acero al carbón.

CALCULO DEL DIÁMETRO MAS ECONOMICO DE LÍNEA DE CONDUCCIÓN CABALLAJE

DIÁMETRO NOMINAL	ESPESOR TUBERÍA	DIÁMETRO NOMINAL	DIAMETRO INTERIOR	ÁREA EN m2	VELOCIDAD	CARGA DE VELOCIDAD	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRÁULICO	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN	PÉRDIDAS LOCALES	PÉRDIDAS TOTALES	CARGA DE SERVICIO	CARGA DINÁMICA TOTAL	EFICIENCIA DE LA BOMBA	POTENCIA DE LA BOMBA
mm	mm	Pulg.	mm	m ²	m/s	m	m	m	m	m	m	m	m	%	H.P
114	3.050	4	108	0.0092	5.072	1.311	0.340	0.027	29.484	2.948	32.433	1.00	58.55	0.75	47.91
168	3.400	6	162	0.0205	2.277	0.264	0.507	0.040	3.482	0.348	3.831	1.00	28.90	0.75	23.65
219	3.760	8	212	0.0352	1.327	0.090	0.665	0.053	0.825	0.082	0.907	1.00	25.80	0.75	21.11

GOLPE DE ARIETE

DIÁMETRO NOMINAL	PRESIÓN DE TRABAJO	DIAMETRO INTERIOR	ESPESOR DE LA TUBERÍA	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL AGUA	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL MATERIAL	DIAM. INT.	ESPESOR DE PARED	SOBREPRESION $h = \frac{145 v}{\sqrt{\frac{1 + E_{ad}}{E_{te}}}}$	Hdb (CONDUCCIÓN)	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LA CONDUCCIÓN	PÉRDIDAS TOTALES CONDUCCIÓN	CARGA NORMAL DE OPERACIÓN	PRESIÓN TOTAL EN EL TREN DE DESCARGA	VALVULA CONTRA GOLPE DE ARIETE	TUBERÍA	VÁLVULA
Pulg.	mca	cm	cm	kg/cm ²	kg/cm ²	cm	TUBO (e) cm		m	m	m	m	m		20%	80%
4	500.01	10.82	0.305	20670	2100000	10.82	0.305	633.21	17.804	26.800	29.480	49.60	682.81	SI	136.56	546.25
6	400.01	16.15	0.340	20670	2100000	16.15	0.340	272.52	17.804	3.165	3.482	22.55	295.07	NO	100.00	0.00
8	300.01	21.158	0.376	20670	2100000	21.16	0.376	154.31	17.804	0.750	0.825	19.72	174.02	NO	100.00	0.00

ANÁLISIS DE COSTOS MATERIALES Y M.O.

CONCEPTO	Diámetro (plg):	4.0	Clase:	Acero al carbón	Diámetro (plg):	6	Clase:	Acero al carbón	Diámetro (plg):	8	Clase:	Acero al carbón	CEA ANÁLISIS DEL DIÁMETRO MAS ECONOMICO LOCALIDAD: BENITO JUÁREZ MUNICIPIO: LOS REYES DE JUÁREZ FECHA: ELABORO:
	Ancho zanja (m):	0.75	Prof. zanja (m):	1.15	Ancho zanja (m):	0.80	Prof. zanja (m):	1.20	Ancho zanja (m):	0.85	Prof. zanja (m):	1.25	
	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	
Suministro de Tubería	69.9	ML	\$ 673.38	45,722.50	69.9	ML	\$ 493.35	34,485.17	69.9	ML	\$ 648.86	45,355.31	
Instalación de tubería	69.9	ML	\$ 130.45	8,857.56	69.9	ML	\$ 134.71	9,416.23	69.9	ML	\$ 170.41	11,911.66	
Limpeza, trazo y nivelación	35.0	M2	\$ 14.19	481.75	55.9	M2	\$ 14.29	799.10	59.4	M2	\$ 14.29	849.04	
Excavación	0.0	M3	\$ -	0.00	0.0	M3	\$ -	0.00	0.0	M3	\$ -	0.00	
Relleno compactado al 85%	0.0	M3	\$ -	0.00	0.0	M3	\$ -	0.00	0.0	M3	\$ -	0.00	
Equipo de bombeo	47.9	H.P.	\$201,567.00	201,567.00	23.6	H.P.	\$120,746.00	120,746.00	21.1	H.P.	\$120,746.00	120,746.00	
COSTO TOTAL DE CONDUCCIÓN				256,628.81				165,446.49				178,862.01	

DIÁMETRO MAS ECONOMICO

4.- ANÁLISIS DE COSTO ANUAL DE BOMBEO

Diámetro	Potencia		Precio KWh por CFE	Costo por hora de bombeo	Bombeo al día	Carga anual por bombeo	Inversion inicial	Interes anual	Numero de anualidades	Anualidad (a)	Costo Anualizado de la inversion	Costo Total por operación de bombeo anualizado	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
	(in)	(m)	H.P.	KWh	(\$/KWh)	(\$/h)	(horas)	(\$/año)	(\$)	(r)	(n)	Actualización	(\$)
4	0.1143	47.907	35.725	\$ 1.973	\$ 70.48	24	\$ 617,444.60	\$256,628.81	4.25%	20	7.52%	\$19,303.58	\$636,748.18
6	0.1683	23.647	17.633	\$ 1.973	\$ 34.79	24	\$ 304,768.03	\$165,446.49	4.25%	20	7.52%	\$12,444.86	\$317,212.88
8	0.2191	21.112	15.743	\$ 1.973	\$ 31.06	24	\$ 272,096.13	\$178,862.01	4.25%	20	7.52%	\$13,453.97	\$285,550.10

Se selecciona una bomba sumergible (-1-A) con una potencia de 30 HP que será la que bombeará durante un tiempo de 24 horas.

Dimensionamiento de tanque de regularización

Para la obtención de las dimensiones del tanque se considera la siguiente ecuación

Ecuación 54. Dimensionamiento del tanque de regularización

$$C = R * Q$$

Donde, C será el volumen necesario en m³, R el coeficiente de regulación que se presenta en la tabla 63 de acuerdo a los tiempos de bombeo, y Q es el gasto necesario, en l/s.

Tabla 63. Coeficiente de regulación

Tiempo de suministro en el tanque	Coeficiente de regulación
24 horas	11
20 horas	9
16 horas	19

Se presentan los datos a emplear para el dimensionamiento del tanque

Gasto máximo de diseño= 46.64 l/s

Tiempo de bombeo= 24 hr

Coeficiente de regulación (R) = 11

Al aplicar la ecuación 54 se obtiene:

$$C = 11 * 46.64 \text{ l/s}$$

$$C = 513.04 \text{ m}^3$$

Se dimensiona un tanque que cumpla con el almacenamiento del volumen antes obtenido

Diámetro= 18.5 m

Altura= 2 m

Volumen = 537.6 m³

Red de distribución

Parte del análisis consiste en plantear propuestas para la ejecución en campo de las obras, así que mediante el cálculo de la red de distribución se determinarán los diámetros necesarios en la red para garantizar que el agua captada llegue hacia los cultivos e incluso sobre que materiales se trabajarán.

El sistema estará compuesto por tuberías, cruces y accesorios. La tubería que se propone es PVC

Con apoyo de la tabla 55. Cálculo del C.U.R., se tomarán los gastos de diseño para las redes de conducción.

Para las hortalizas se toma un gasto de 25.44 l/s mientras que para el frijol y maíz de 21.2 l/s.

El material que se propone es PVC, los datos se muestran a continuación.

Tabla 64. Datos red para hortalizas

Carga disponible en cada cruce	15	m
Material de tubería	PVC	
C (COEFICIENTE DE HAZEN WILLIAMS)	140	
Gasto	25.44	l/s

Tabla 65. Datos para red de frijol y maíz

Carga disponible en cada cruce	15	m
Material de tubería	PVC	
C (COEFICIENTE DE HAZEN WILLIAMS)	140	
gasto=	21.20	l/s

Para el cálculo se realizará de acuerdo a la metodología planteada en el capítulo 1, se enumeran los nodos de la red y se obtienen 51 nodos y 50 tramos entre la red de hortalizas, maíz y frijol donde los diámetros de tuberías que se utilizaron son de 10". Los nodos tienen las cotas piezométricas obtenidas de los planos topográficos del capítulo II.

Las cotas del terreno natural en cada crucero se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 66. Elevaciones de los cruceros en hortalizas

Crucero		Cota de terreno natural	
Inicial	Final	Inicial	Final
1	2	2264.670	2264.348
2	3	2264.348	2264.292
3	4	2264.292	2260.040
3	5	2264.292	2264.847
5	6	2264.847	2260.050
5	7	2264.847	2264.476
7	9	2264.476	2263.821
7	8	2264.476	2260.060
9	11	2263.821	2263.209
9	10	2263.821	2259.140
11	13	2263.209	2262.758
11	12	2263.209	2263.210

Crucero		Cota de terreno natural	
Inicial	Final	Inicial	Final
13	14	2262.758	2262.105
14	15	2262.105	2260.958
14	25	2262.105	2260.570
15	16	2260.958	2259.354
15	24	2260.958	2259.560
16	17	2259.354	2258.313
16	23	2259.354	2259.350
17	18	2258.313	2257.477
17	22	2258.313	2258.310
18	19	2257.477	2256.445
18	21	2257.477	2257.480
19	20	2256.445	2255.608

Tabla 67. Elevaciones de los cruceros en frijol y maíz

Crucero		Cota de terreno natural	
Inicial	Final	Inicial	Final
26	27	2264.630	2261.857
27	28	2261.857	2260.500
28	29	2260.500	2260.008
29	30	2260.008	2260.020
29	31	2260.008	2260.089
31	32	2260.089	2260.080
32	33	2260.080	2260.048
32	51	2260.080	2258.290
33	34	2260.048	2250.650
33	35	2260.048	2259.634
35	36	2259.634	2250.100
35	37	2259.634	2258.795

Crucero		Cota de terreno natural	
Inicial	Final	Inicial	Final
37	38	2258.795	2250.220
37	39	2258.795	2258.004
39	40	2258.004	2257.816
40	41	2257.816	2257.748
40	50	2257.816	2250.900
41	42	2257.748	2252.299
41	49	2257.748	2254.020
42	43	2252.299	2251.465
42	48	2252.299	2252.450
43	44	2251.465	2250.871
43	47	2251.465	2251.720
44	45	2250.871	2250.620
44	46	2250.871	2251.120

Ya que se tienen las elevaciones de los cruceros se continua con el cálculo de los diámetros necesarios en las ramificaciones de la red.

Tabla 68. Red ramificada hortalizas

Línea de conducción a gravedad																							
Tubería conducción										Material = PEAD RD-13.5													
Ø ext. com. =		219.1 mm		Ø nom. =		8 plg.		Ø int. com. =		186.7 mm		C _u =		140		Espesor =		16.2 mm		P. max =		110 mca	
L. descarga =		m		H. Zanja =		1.15 m																	
NODO		LONG.	LONGITUD ACUM.	Q1.85	K	Ø COMERCIAL			hf	hL (5% hf)	Pérdidas totales (hT)	VELOCIDAD (V)	CARGA DE VELOCIDAD (V2/2g)	COTA TERRENO (Rasante)		COTA TERRENO (Arrastre)		CARGA DISPONIBLE (Carga de presión)		COTA PIEZOMÉTRICA			
INICIAL	FINAL					CM	PLG	INT						m	m	m	m/s	m	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL
1	2	57.837	57.84	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.260	0.013	0.27261	0.929	0.044	2264.670	2264.348	2263.520	2263.198	17.000	17.049	2281.67	2281.40		
2	3	37.211	95.05	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.167	0.008	0.17539	0.929	0.044	2264.348	2264.292	2263.198	2263.142	17.049	16.930	2281.40	2281.22		
3	5	111.296	206.34	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.500	0.025	0.52459	0.929	0.044	2264.292	2264.847	2263.142	2263.697	16.930	15.850	2281.22	2280.70		
5	7	119.290	325.63	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.535	0.027	0.56226	0.929	0.044	2264.847	2264.476	2263.697	2263.326	15.850	15.659	2280.70	2280.14		
7	9	129.796	455.43	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.583	0.029	0.61178	0.929	0.044	2264.476	2263.821	2263.326	2262.671	15.659	15.702	2280.14	2279.52		
9	11	119.094	574.52	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.535	0.027	0.56134	0.929	0.044	2263.821	2263.209	2262.671	2262.059	15.702	15.753	2279.52	2278.96		
11	13	124.968	699.49	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.561	0.028	0.58903	0.929	0.044	2263.209	2262.758	2262.059	2261.608	15.753	15.615	2278.96	2278.37		
13	14	49.324	748.82	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.221	0.011	0.23248	0.929	0.044	2262.758	2262.105	2261.608	2260.955	15.615	16.096	2278.37	2278.14		
14	15	94.956	843.77	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.426	0.021	0.44757	0.929	0.044	2262.105	2260.958	2260.955	2259.808	16.096	16.735	2278.14	2277.69		
15	16	111.717	955.49	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.501	0.025	0.52657	0.929	0.044	2260.958	2259.354	2259.808	2258.204	16.735	17.812	2277.69	2277.17		
16	17	107.672	1063.16	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.483	0.024	0.50750	0.929	0.044	2259.354	2258.313	2258.204	2257.163	17.812	18.346	2277.17	2276.66		
17	18	100.367	1163.53	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.451	0.023	0.47307	0.929	0.044	2258.313	2257.477	2257.163	2256.327	18.346	18.709	2276.66	2276.19		
18	19	134.054	1297.58	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.602	0.030	0.63185	0.929	0.044	2257.477	2256.445	2256.327	2255.295	18.709	19.109	2276.19	2275.55		
19	20	147.054	1444.64	0.00112	3.9989	18.67	8	18.67	0.660	0.033	0.69312	0.929	0.044	2256.445	2255.608	2255.295	2254.458	19.109	19.253	2275.55	2274.86		

Tabla 69. Red ramificada frijol y maíz

Línea de conducción a gravedad																							
Tubería conducción										Material = PEAD RD-7													
Ø ext. com. =		273.1 mm		Ø nom. =		10 plg.		Ø int. com. =		195.1 mm		C _u =		140		Espesor =		39 mm		P. max =		230 mca	
L. descarga =		m		H. Zanja =		1.2 m																	
NODO		LONG.	LONGITUD ACUM.	Q1.85	K	Ø COMERCIAL			hf	hL (5% hf)	Pérdidas totales (hT)	VELOCIDAD (V)	CARGA DE VELOCIDAD (V2/2g)	COTA TERRENO (Rasante)		COTA TERRENO (Arrastre)		CARGA DISPONIBLE (Carga de presión)		COTA PIEZOMÉTRICA			
INICIAL	FINAL					CM	PLG	INT						m	m	m	m/s	m	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL
26	27	57.837	57.84	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.150	0.007	0.15706	0.709	0.026	2264.630	2261.857	2263.430	2260.657	17.000	19.616	2281.63	2281.47		
27	28	37.211	95.05	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.096	0.005	0.10105	0.709	0.026	2261.857	2260.500	2260.657	2259.300	19.616	20.872	2281.47	2281.37		
28	29	255.022	350.07	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.660	0.033	0.69252	0.709	0.026	2260.500	2260.008	2259.300	2258.808	20.872	20.671	2281.37	2280.68		
29	31	362.535	712.61	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.938	0.047	0.98448	0.709	0.026	2260.008	2260.089	2258.808	2258.889	20.671	19.606	2280.68	2279.69		
31	32	119.290	831.90	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.309	0.015	0.32394	0.709	0.026	2260.089	2260.080	2258.889	2258.880	19.606	19.291	2279.69	2279.37		
32	33	129.796	961.69	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.336	0.017	0.35247	0.709	0.026	2260.080	2260.048	2258.880	2258.848	19.291	18.970	2279.37	2279.02		
33	35	473.178	1434.87	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	1.224	0.061	1.28493	0.709	0.026	2260.048	2259.634	2258.848	2258.434	18.970	18.100	2279.02	2277.73		
35	37	572.373	2007.24	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	1.480	0.074	1.55430	0.709	0.026	2259.634	2258.795	2258.434	2257.595	18.100	17.384	2277.73	2276.18		
37	39	94.956	2102.20	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.246	0.012	0.25786	0.709	0.026	2258.795	2258.004	2257.595	2256.804	17.384	17.917	2276.18	2275.92		
39	40	202.751	2304.95	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.524	0.026	0.55058	0.709	0.026	2258.004	2257.816	2256.804	2256.616	17.917	17.555	2275.92	2275.37		
40	41	111.717	2416.67	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.289	0.014	0.30337	0.709	0.026	2257.816	2257.748	2256.616	2256.548	17.555	17.319	2275.37	2275.07		
41	42	107.672	2524.34	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.278	0.014	0.29239	0.709	0.026	2257.748	2257.299	2256.548	2251.099	17.319	22.476	2275.07	2274.78		
42	43	100.367	2624.70	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.260	0.013	0.27255	0.709	0.026	2257.299	2251.465	2251.099	2250.265	22.476	23.038	2274.78	2274.50		
43	44	134.054	2758.76	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.347	0.017	0.36403	0.709	0.026	2251.465	2250.871	2250.265	2249.671	23.038	23.267	2274.50	2274.14		
44	45	147.054	2905.81	0.00080	3.2281	19.51	8	19.51	0.380	0.019	0.39933	0.709	0.026	2250.871	2250.620	2249.671	2249.420	23.267	23.119	2274.14	2273.74		

Con la información de la tabla 68. Red ramificada hortalizas, y la tabla 69. Red ramificada frijol y maíz se determinan los diámetros necesarios de los cruceros, los diámetros se seleccionan para cubrir la carga disponible mínima de 15.3 m que es la necesaria para que funcionen correctamente los aspersores.

Riego por aspersión

El sistema que se selecciona para el riego es mediante aspersores y para determinar el gasto sobre el cual se diseñará, se usarán datos obtenidos en el análisis del uso consuntivo. De acuerdo con la tabla 54. Resumen láminas de riego. donde se obtuvieron las láminas de riego para cada mes, se selecciona sobre el mes que tienen mayor lámina, pues en el diseño ese valor será el más desfavorable. Se puede notar que el valor corresponde a las hortalizas en el mes de marzo, con los siguientes datos.

Tabla 70. Datos para parámetros de aspersores

Hortalizas							
Mayor lamina bruta (mm)	Mes donde se presenta	Días	lamina bruta diaria (mm/día)	Superficie cultivada (ha)	Volumen demandado (m ³)	C.U.R. (m ³ /s)-m ²	(l/s)-ha
166.33	Marzo	31	5.37	42	2253.501	6.21004E-08	0.62

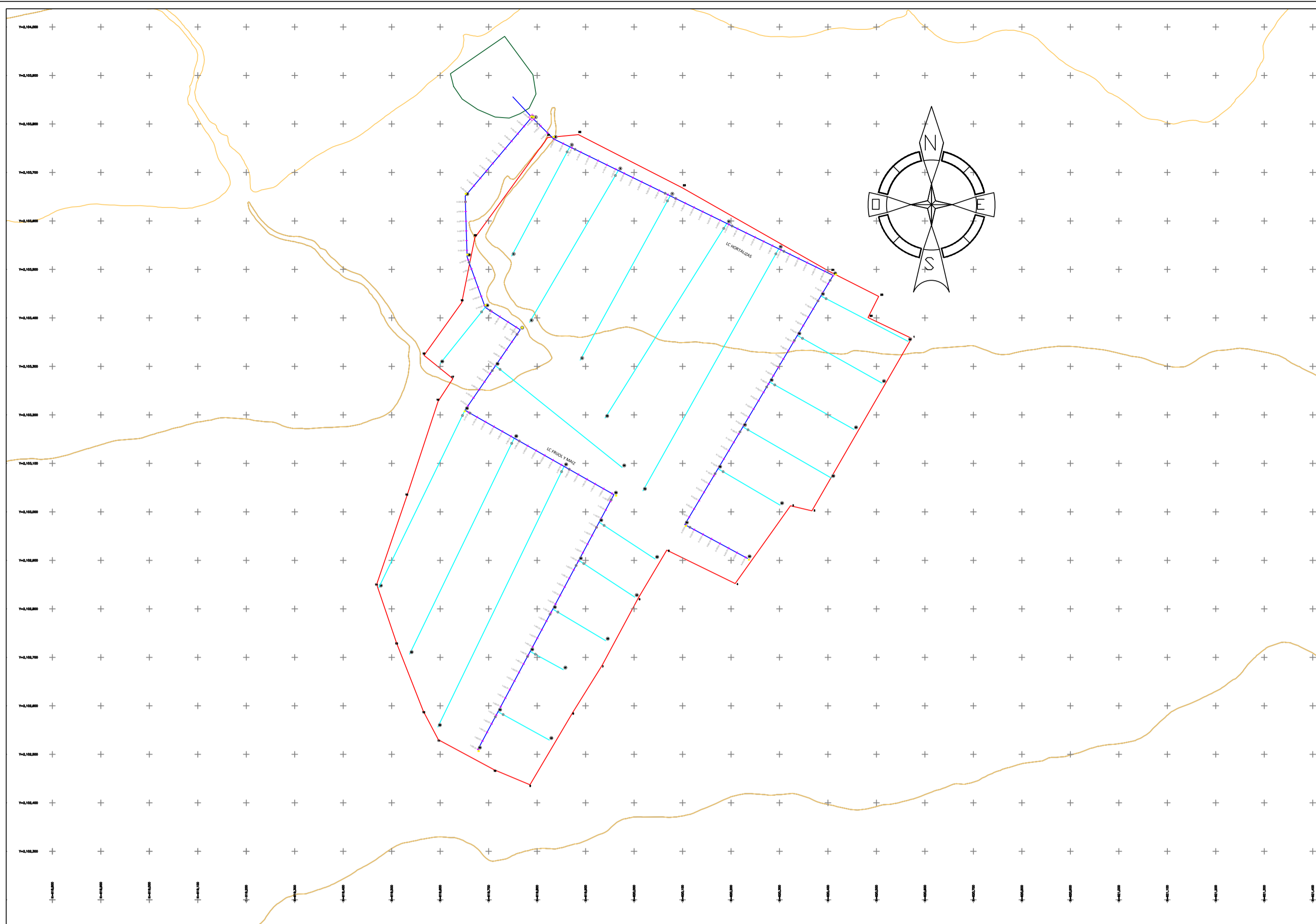
De la tabla 70. Datos para parámetros de aspersores, se tomarán los valores correspondientes necesarios para los cálculos posteriores.

De acuerdo con esos datos se seleccionan aspersores comerciales, en este caso se utilizarán aquellos que cubran la carga disponible que se obtuvo en la red ramificada que es de 15.3 m.

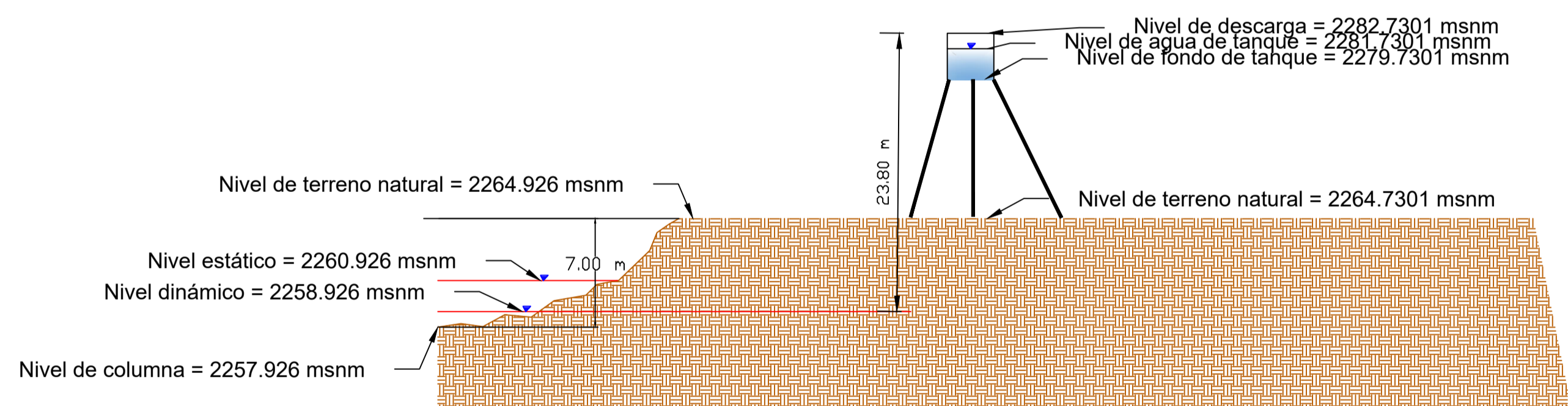
Se muestran las especificaciones técnicas del aspersor que se selecciona.

De los datos del aspersor se toma como caudal 168 l/h y realizando la conversión se tiene un caudal del aspersor de 0.0467 l/s, también se toma como distancia de alcance 12 m.

De las especificaciones se toma que la cobertura del aspersor es de 360°.

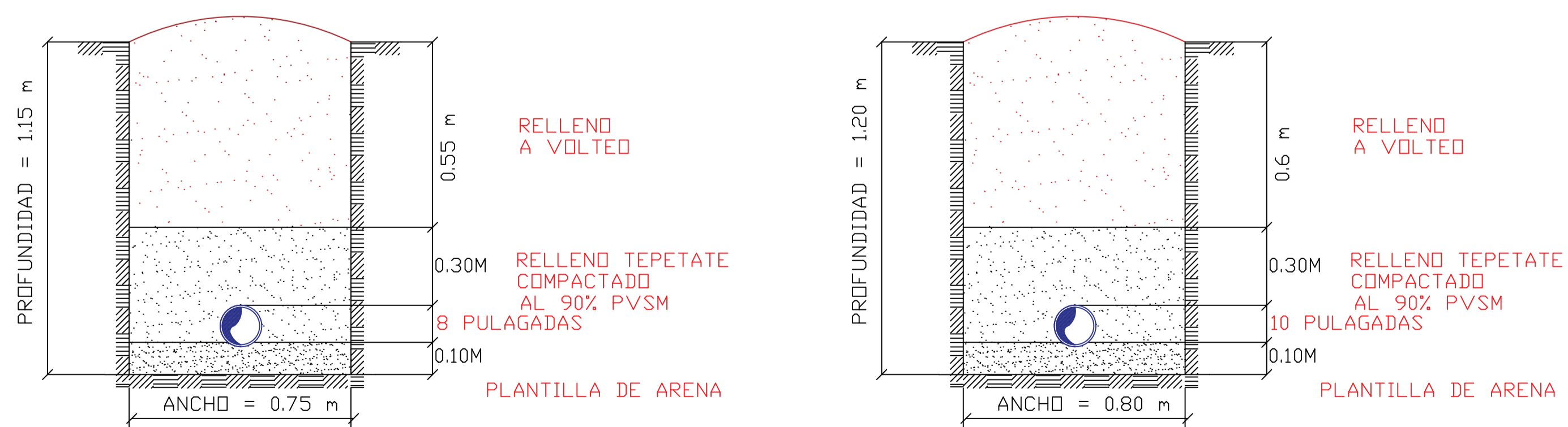


NIVELES DE PROYECTO



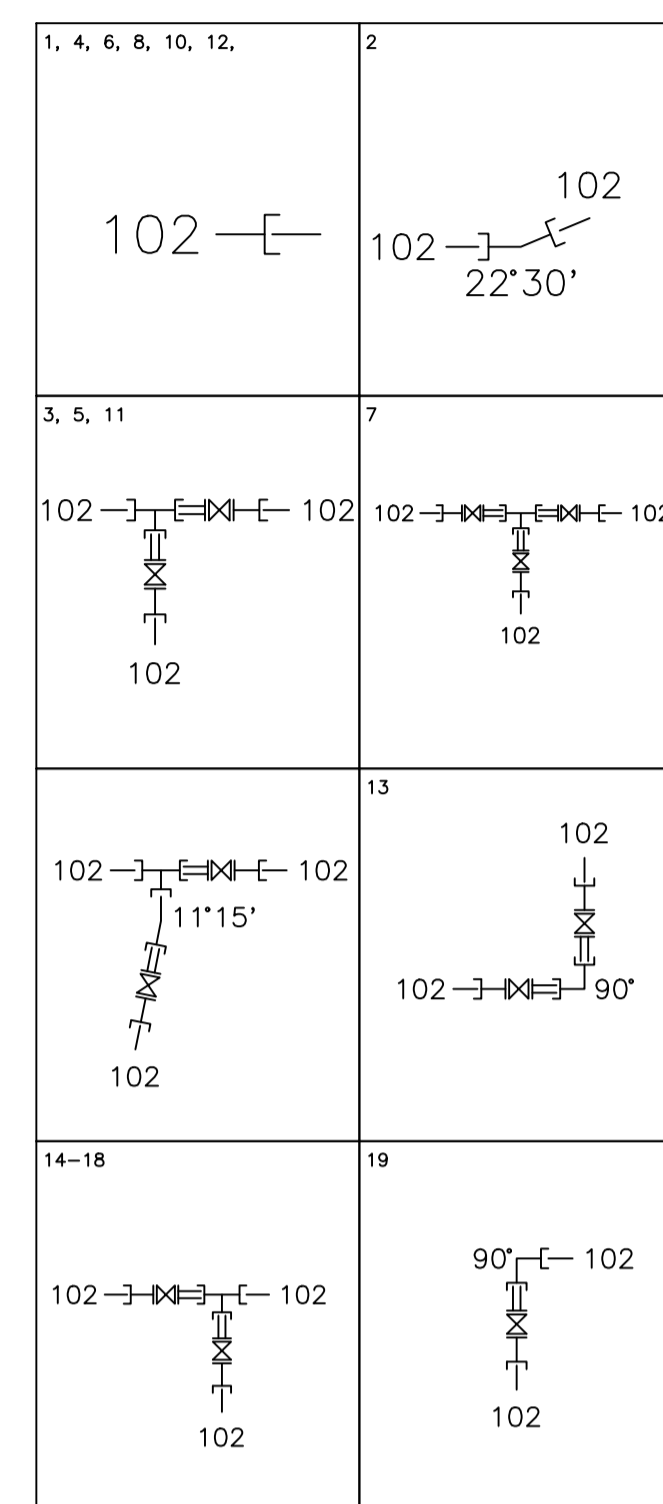
DETALLE DE ZANJA -HORTALIZAS

DETALLE DE ZANJA -MAIZ Y FRIJOL

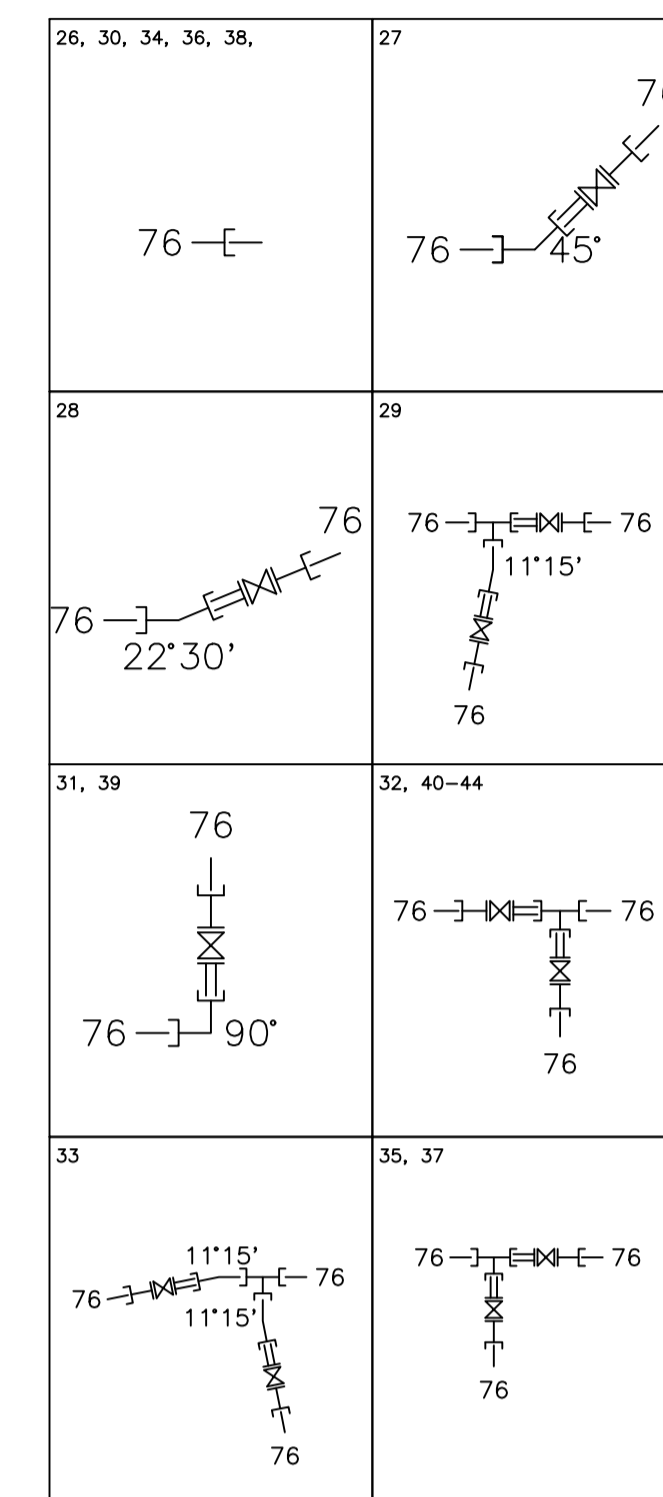


DIAMETRO	DIAMETRO NOMINAL	ANCHO MINIMO	PROFUNDIDAD	VOLUMEN
Milimetro	Pulgadas	cms.	cms.	m ³ /ml.
203.2	8	75	115	0.86
254.4	10	80	120	0.96

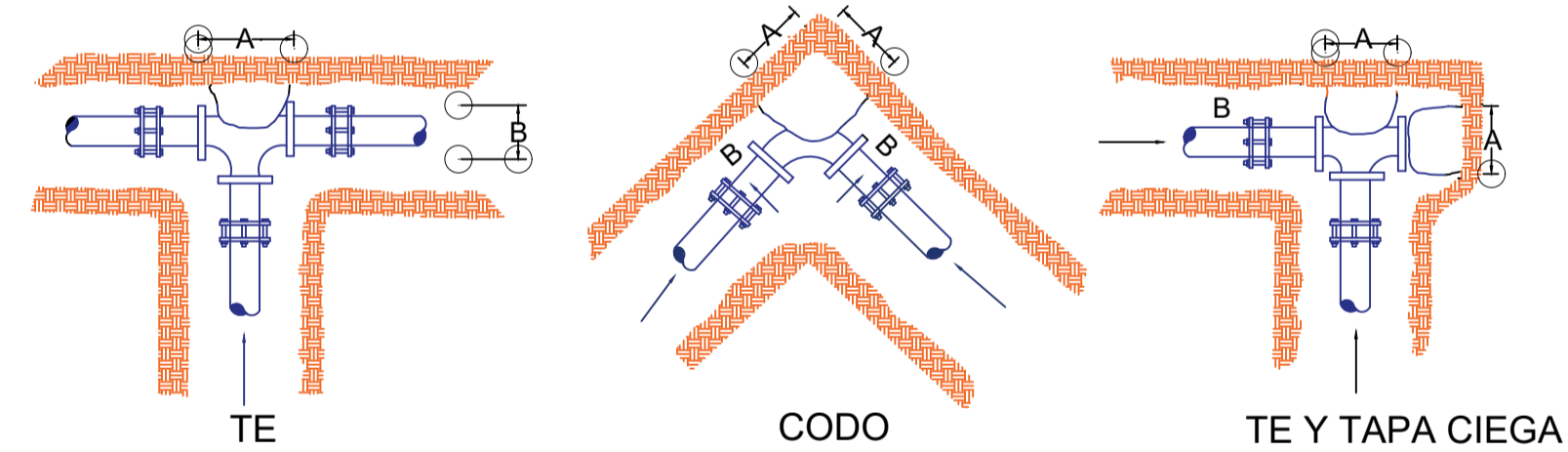
DESPIECE RED HORTALIZAS



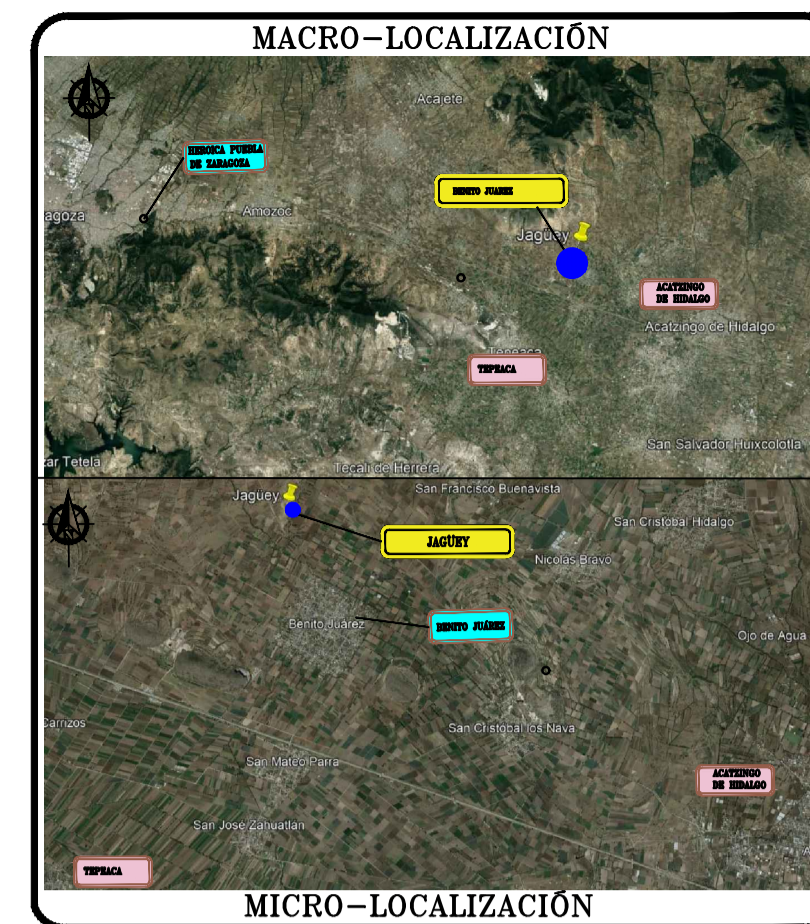
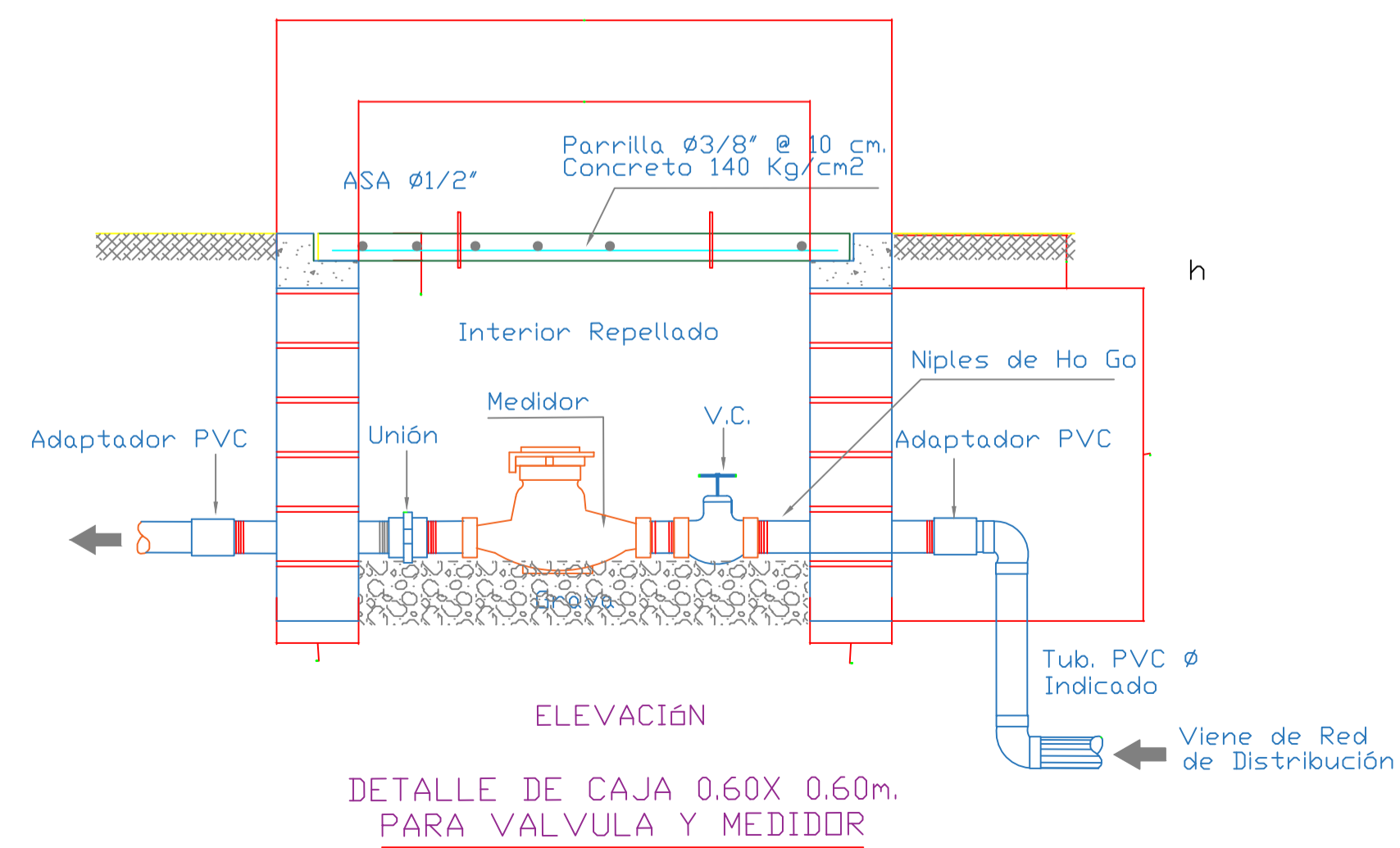
DESPIECE RED MAÍZ Y FRIJOL



DIAM. NOMINAL DE LA PIEZA ESP.		ALTURA	LADO " A"	LADO " B"	VOLUMEN
Milímetros	Pulgadas	cm.	cm.	cm.	m ³ .
254	10 "	50	40	40	0.080
203	8 "	45	35	35	0.055



- Notas:
- Las piezas especiales deberán estar alineadas y niveladas antes de colocar los atraques, los cuales quedaran perfectamente apoyados al fondo y pared de la zanja.
 - El atraque debera colocarse en todos los casos, antes de hacer la prueba hidrostatica de las tuberias
 - Estos atraques se usaran exclusivamente para tuberias alojadas en zanja.



MICRO-LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA	
	JAGÜEY
	DELIMITACIÓN PARCELAS PARA RIEGO
	TUBERIA
	EJE DE PROYECTO
	CURVA DE NIVEL
	CERCA DE ALAMBRE
	NODOS DE RED
SIMBOLOGIA	
	TUBERIA DE 101.6mm(4")
	TUBERIA DE 76.2mm(3")
	CODO DE 11°15'
	CODO DE 22°30'
	CODO DE 45°
	CODO DE 90°
	EXTREMIDAD CAMPANA
	EXTREMIDAD ESPIGA
	NUMERO DE CRUCERO
	TEE
	VALVULA DE SECCIONAMIENTO

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA		FECHA
		ABRIL 2022
PROYECTO: Diseño del sistema de abastecimiento para riego en Benito Juárez, Los Reyes de Juárez, Puebla		HOJA
P L A N O		1 DE 1
RED RAMIFICADA PARA RIEGO		
ESCALA:	ESTADO:	MUNICIPIO:
SIN ESCALA	PUEBLA	LOS REYES DE JUÁREZ
DIBUJO		REVISO
María Vera Chávez		M. Samanta Alejandra Sangreth Alvarado
INGENIERÍA FACULTAD		FACULTAD DE INGENIERÍA COLEGIO DE INGENIERIA CIVIL

Para poder continuar con el análisis primero se obtienen los tiempos de operación del sistema y gasto instantáneo, para este paso necesitamos el volumen del jagüey que se calculó con anterioridad.

Tabla 71. Especificaciones técnicas aspersor VYR-16

 <p>VYR-16 ASPERSOR AGRÍCOLA CIRCULAR VYR-16 (PLAST. 1/2")</p>	<p>ESPECIFICACIONES</p> <p>Alcance: 8-12 m. Caudal: 168 - 1450 l/h. Presión de trabajo: 1,5 - 3,5 BAR. Sector: Circular. Boquillas: Dos boquillas, una de largo alcance (2-3,6 mm) y otra de corto alcance (2,5 -3mm).(2,4 x 2,5 mm standar). Boquillas de bayoneta "clik" con código de colores. Ángulos de trayectoria: 26° y 8°. Altura máxima de chorro: 2,8 m y 1 m (ang. bajo). Tiempo de rotación: Dependiendo de la presión y boquillas es uniforme y continuo (ajustable). Coeficiente de Uniformidad superior al 90% en marcos de 8x8R, 8x10T.</p>
--	---

Tabla 72. Volumen del jagüey

Volumen	36718.93	m ³
---------	----------	----------------

Con el dato del volumen del jagüey obtendremos el tiempo de operación del sistema de aspersión, pero dado que el volumen del jagüey es muy alto y el caudal obtenido de las láminas de riego muy bajo el resultado es un valor negativo, así que resulta más conveniente ajustarlo.

Tabla 73. Tos (sin ajuste)

Tos (h)=	-361
----------	------

Tabla 74. Tos (h) con ajuste

Tos (h)=	24
----------	----

Se considera que para el Tos(h) se utilizara un tiempo de 24 horas, debido a que se cuenta con un tanque de almacenamiento.

Ahora que se ajustó el tiempo de operación del sistema se obtiene el gasto instantáneo.

Tabla 75. Gasto instantáneo

Gasto instantáneo	
Qi=	451.074 l/s

También para el cálculo de los aspersores se emplearán las propiedades físicas del suelo que se definieron con anterioridad en la tabla 50. Propiedades físicas del suelo arcilloso.

Cálculo de parámetros de riego

En este apartado se obtendrán los cálculos donde se determinarán las distancias a los que deberán colocarse los aspersores y la cantidad que deberán emplearse para Primero se deberán calcular los intervalos entre riegos

Tabla 76. Intervalos entre riegos.

Cálculo de agua reutilizable (mm)	Dosis neta de riego (mm)	Máximo intervalo entre riegos (días)	Días ajustados
112.5	56.25	10.48	5

Se obtiene que el riego se realiza cada cinco días

Ahora que se conoce el intervalo de riego se calcula el número de aspersores necesarios

Para este caso se analizará con el gasto instantáneo ya que este gasto se considera cuando hay sistemas de almacenamiento.

Tabla 77. Número de aspersores y tiempo de aplicación para hortalizas.

Número de aspersores funcionando	Aspersores ajustados	Déficit (%)	Distancia de traslape (m)	Distancia ajustada (m)	Pluviometría de un aspersor (mm/h)	Pluviometría máxima (mm)	Cumple la condición	Cálculo del tiempo de aplicación (h)
9668.78	820	47	7.2	7	3.43	5	si	10.4

Al ajustarse el tiempo aplicación en 11 horas se calculan las posturas y las superficies regadas

Tabla 78. Número de posturas por día para hortalizas.

Superficie de postura (m ²)	Número de posturas por día	Número de posturas por día ajustado	Superficie regada por día (m ²)	Superficie regada por día (ha)	Superficie regada (ha)
40180	2.18	2	80360	401800	40.18

A partir de los resultados se tienen que, al estar funcionando 820 aspersores durante 11 horas con dos posturas por día, la superficie de riego es de aproximadamente 8 hectáreas y al multiplicarse por 5 que es el valor de intervalos entre riegos se tiene una superficie total de 40.18 hectáreas regadas, que resulta un valor muy próximo a la superficie deseada de 42 hectáreas, pero se considera válido.

Para los cultivos de frijol y maíz el mes más desfavorable sigue siendo marzo y como se presentan las mismas cantidades de láminas de riego en el maíz y el frijol, solo se calcularán el número de aspersores.

Tabla 79. Numero de aspersores y tiempo de aplicación para maíz y frijol

Numero de aspersores funcionando	aspersores ajustados	DEFCIT (%)	distancia de traslape (m)	distancia ajustada (m)	pluviometría de un aspersor (mm/h)	Pluviometría máxima (mm)	cumple la condición	cálculo del tiempo de aplicación (h)	
9572.63205	720	54.6	7.2	7	3.43	5	si	10.4	11

Tabla 80. Número de posturas por día para maíz y frijol.

superficie de postura (m ²)	número de posturas por día	número de posturas por día ajustado	superficie regada por día (m ²)	superficie regada por día (ha)	superficie regada (ha)
35280	2.18	2	70560	352800	35.28

Se establece que para los cultivos de maíz y frijol se tendrán en operación 720 aspersores con un tiempo de aplicación de 11 horas por postura y se emplearan dos posturas por día, empleando esa información la superficie de riego será de

aproximadamente 7 hectáreas además como se considera que el intervalo entre riegos es de 5 días, la superficie total de riego que se tendrá en ese periodo es de 35.28 hectáreas, es un valor un poco superior a lo deseado pero se considera que si son los necesarios para cubrir dicha superficie.

Con los resultados de las tablas anteriores podemos verificar que el gasto que se plantea es el necesario para regar el total de las parcelas propuestas.

Conclusiones y recomendaciones

A partir de la información planteada a lo largo del documento se deja claro la importancia de la agricultura sobre su impacto en las comunidades rurales y como el desarrollar sistemas para este sector incrementa su productividad.

En la presente investigación se lograron establecer los datos de los criterios necesarios para poder desarrollar sistemas que logren el beneficio a la comunidad, en este caso en particular en el desarrollo de un jagüey junto con un sistema de riego.

Al inicio de la investigación se plantearon objetivos que en el desarrollo de la misma permitieron verificar la hipótesis planteada, mediante los diferentes análisis que se establecieron y se calcularon. En el estudio hidrológico se determinó el área de impacto de la cuenca y gasto de aporte considerando los registros históricos de precipitaciones y los suelos presentes en la zona, en base a los datos obtenidos, se determinan valores necesarios para el jagüey como lo es el vertedor de excedencias.

En cuanto a las dimensiones que tendrá el jagüey se determinó a partir del uso consuntivo, en este se estableció la cantidad de parcelas que se verán beneficiadas y el análisis parte de acuerdo a los cultivos que se sembrarán en dichas parcelas ya que las láminas de riego dependen en gran medida de estos, así que de acuerdo a los cultivos establecidos que en este caso fueron las hortalizas, maíz y frijol. Para estos cultivos se obtienen dimensiones del jagüey muy similares a las que ya tiene la estructura así que solo se propone la modificación y ajuste de acuerdo a las obtenidas en el cálculo, también cabe mencionar se presentaron las láminas de riego más altas en el mes de marzo.

En base a los datos señalados en el uso consuntivo se dimensiono la línea de conducción y la red ramificada a través de la cual se implementó como sistema de riego la aspersion.

Los caudales de diseño de este sistema de riego parten principalmente de la capacidad de almacenamiento con la que se cuenta y en este caso se tomó la de jagüey, en el desarrollo de este apartado se determinó el uso de diferentes

materiales para poder seleccionar aquel que presente un menor impacto económico.

Para el sistema de riego que como se mencionó con anterioridad se eligió el sistema por aspersión, se verificó que los aspersores elegidos cumplan con las necesidades de los cultivos para permitir un desarrollo óptimo de estos.

Los datos generales del diseño se presentan a continuación.

A través del uso consuntivo se determinó que el caudal necesario para poder regar 17 hectáreas de frijol, 18 hectáreas de maíz y 42 hectáreas de hortalizas, se debe de conducir un caudal de 46.64 l/s, el cual será suministrado a través de un almacenamiento del jagüey de 36718.93 m² el cual se logrará empleando dimensiones de un radio superior de 50 metros, radio inferior de 38 metros y una altura de 6 metros, el agua que sea captada en el jagüey será conducida en una tubería de acero al carbón de 8" donde la velocidad en el interior será de 1.451 m/s y una longitud de tubería de 67.9 metros, con ayuda de una bomba sumergible con una potencia de 30 HP y un tiempo de bombeo de 24 horas, el agua será bombeada hacia un tanque de almacenamiento elevado de 18.5 metros de diámetro y 2 metros de altura. A partir de este punto se obtendrán dos ramificaciones para la red de distribución, una se destinará para los cultivos de hortalizas con un caudal de 25.44 l/s que será conducido a través de una tubería de PVC de 8" en donde la velocidad será de 0.93 m/s con una carga mínima disponible de 15.615 m hacia el sistema de aspersores, aquí los aspersores regarán en un intervalo de 5 días con un tiempo de aplicación de 11 horas a través de 820 aspersores y dos posturas por día, con una separación entre aspersores de 7m para obtener una superficie de riego de 40.8 hectáreas, se obtiene un valor menor al deseado pero esto es debido a que como los valores se van ajustando el área se reduce.

La siguiente ramificación se conducirá hacia los cultivos de maíz y frijol permitiendo un caudal de 21.2 l/s a través de una tubería de PVC de 10" donde la velocidad es de 0.709 m/s con una carga mínima disponible de 17 m hacia el sistema de aspersores que funcionarán en intervalos de 5 días con un tiempo de aplicación de 11 horas a través de 720 aspersores y dos posturas por día con una separación entre aspersores de 7 m.

Estos son los valores necesarios para poder cumplir la hipótesis de la investigación.

Para finalizar se establecen las siguientes recomendaciones

- Implementar desarenadores previos a la bomba para evitar problemas en la succión.
- Propiciar capacitación del personal que estará encargado del sistema de bombeo para la red de distribución.
- Continuar con la rehabilitación de las estructuras previas para la derivación del agua hacia el jaguey, como lo es el dique y el canal de llamada

Anexos

Análisis probabilísticos de precipitaciones en las estaciones seleccionadas para la zona de estudio

Tabla para la estación Tepeaca (21086)

No.	Año	Precipitación (mm)	X	Tr = Período de Retorno	F (x)	NORMAL		LOG.NORMAL				PEARSON III			GUMBEL		
						z	x (mm)	ln (x)	[ln (x) - α]²	z	x (mm)	x	Ji cuadrada	y	x (mm)	x	x (mm)
1	1967	44.00	71.11	31.00	0.97	1.85	67.45	4.26	0.00612	1.85	69.29	69.29	30.57	15.29	70.72	1.03	75.11
2	1968	53.70	68.50	15.50	0.94	1.52	63.87	4.23	0.00510	1.52	64.48	64.48	27.84	13.92	65.77	1.07	68.29
3	1969	41.26	65.00	10.33	0.90	1.30	61.52	4.17	0.00382	1.30	61.49	61.49	26.13	13.07	62.66	1.11	64.23
4	1970	54.20	64.30	7.75	0.87	1.13	59.69	4.16	0.00358	1.13	59.27	59.27	24.85	12.43	60.34	1.15	61.30
5	1971	46.80	62.00	6.20	0.84	0.99	58.16	4.13	0.00283	0.99	57.47	57.47	23.81	11.91	58.45	1.19	58.97
6	1972	54.00	58.00	5.17	0.81	0.86	56.81	4.06	0.00168	0.86	55.93	55.93	22.92	11.46	56.84	1.24	57.04
7	1973	64.30	54.50	4.43	0.77	0.75	55.60	4.00	0.00088	0.75	54.58	54.58	22.14	11.07	55.42	1.29	55.37
8	1974	29.60	54.20	3.88	0.74	0.65	54.48	3.99	0.00082	0.65	53.37	53.37	21.43	10.72	54.14	1.35	53.89
9	1975	39.00	54.00	3.44	0.71	0.55	53.43	3.99	0.00078	0.55	52.25	52.25	20.79	10.39	52.97	1.41	52.56
10	1976	65.00	53.70	3.10	0.68	0.46	52.44	3.98	0.00073	0.46	51.22	51.22	20.18	10.09	51.87	1.48	51.34
11	1977	42.00	49.72	2.82	0.65	0.37	51.49	3.91	0.00017	0.37	50.24	50.24	19.62	9.81	50.84	1.55	50.20
12	1978	62.00	47.30	2.58	0.61	0.29	50.56	3.86	0.00001	0.29	49.32	49.32	19.08	9.54	49.86	1.63	49.14
13	1979	33.00	46.80	2.38	0.58	0.20	49.66	3.85	0.00000	0.20	48.43	48.43	18.56	9.28	48.93	1.72	48.13
14	1980	43.00	44.92	2.21	0.55	0.12	48.78	3.80	0.00003	0.12	47.58	47.58	18.06	9.03	48.02	1.82	47.17
15	1981	43.00	44.00	2.07	0.52	0.04	47.90	3.78	0.00009	0.04	46.74	46.74	17.58	8.79	47.14	1.94	46.25
16	1982	54.50	43.30	1.94	0.48	-0.04	47.02	3.77	0.00015	-0.04	45.93	45.93	17.10	8.55	46.28	2.07	45.35
17	1983	68.50	43.00	1.82	0.45	-0.12	46.15	3.76	0.00019	-0.12	45.12	45.12	16.63	8.32	45.43	2.21	44.48
18	1984	58.00	43.00	1.72	0.42	-0.20	45.26	3.76	0.00019	-0.20	44.32	44.32	16.17	8.09	44.59	2.38	43.63
19	1985	42.00	42.00	1.63	0.39	-0.29	44.36	3.74	0.00032	-0.29	43.53	43.53	15.71	7.85	43.75	2.58	42.78
20	1986	47.30	42.00	1.55	0.35	-0.37	43.44	3.74	0.00032	-0.37	42.73	42.73	15.24	7.62	42.91	2.82	41.94
21	1987	36.66	41.26	1.48	0.32	-0.46	42.48	3.72	0.00045	-0.46	41.91	41.91	14.77	7.39	42.06	3.10	41.09
22	1988	71.11	40.19	1.41	0.29	-0.55	41.49	3.69	0.00068	-0.55	41.08	41.08	14.29	7.15	41.19	3.44	40.24
23	1989	38.10	40.13	1.35	0.26	-0.65	40.44	3.69	0.00069	-0.65	40.22	40.22	13.80	6.90	40.29	3.88	39.36
24	1990	37.16	39.00	1.29	0.23	-0.75	39.32	3.66	0.00099	-0.75	39.33	39.33	13.29	6.64	39.36	4.43	38.46
25	1991	43.30	38.10	1.24	0.19	-0.86	38.11	3.64	0.00127	-0.86	38.38	38.38	12.75	6.37	38.38	5.17	37.51
26	1992	40.19	37.37	1.19	0.16	-0.99	36.77	3.62	0.00154	-0.99	37.36	37.36	12.16	6.08	37.32	6.20	36.50
27	1993	37.37	37.16	1.15	0.13	-1.13	35.23	3.62	0.00162	-1.13	36.22	36.22	11.52	5.76	36.15	7.75	35.39
28	1994	40.13	36.66	1.11	0.10	-1.30	33.40	3.60	0.00183	-1.30	34.91	34.91	10.79	5.39	34.82	10.33	34.13
29	1995	49.72	33.00	1.07	0.06	-1.52	31.05	3.50	0.00384	-1.52	33.29	33.29	9.89	4.94	33.19	15.50	32.59
30	1996	44.92	29.60	1.03	0.03	-1.85	27.47	3.39	0.00669	-1.85	30.98	30.98	8.63	4.31	30.91	31.00	30.42

$\Sigma =$	1423.82	$\Sigma =$	115.075	0.047	$\gamma =$	sesgo	0.671293977	$\mu_y =$	0.53948
$\bar{x} =$	47.461	$\bar{x} =$	3.836	$\alpha_1 =$ Alfa	3.628827561	$\alpha_2 =$	1.12528		
$\sigma =$	10.81144085	$\sigma =$	0.221	$\beta_1 =$ beta	8.876351476	$\alpha =$	0.104082334		
		$\alpha =$	3.836	$\delta_1 =$ delta	15.24995697	$\beta =$	42.27750156		

Tabla para la estación Vista hermosa (2100)

No.	Año	Precipitación (mm)	X	Tr = Período de Retorno	F (x)	NORMAL		LOG. NORMAL			PEARSON III			GUMBEL			
						z	x (mm)	ln (x)	[ln (x) - a]²	z	x (mm)	x	Ji cuadrada	y	x (mm)	x	x (mm)
1	1967	61.30	99.03	31.00	0.97	1.85	83.74	4.60	0.01945	1.85	90.52	90.52	21.11	10.55	89.44	1.03	96.95
2	1968	58.70	87.30	15.50	0.94	1.52	77.58	4.47	0.01356	1.52	80.24	80.24	18.81	9.41	80.32	1.07	85.20
3	1969	47.80	75.30	10.33	0.90	1.30	73.52	4.32	0.00800	1.30	74.11	74.11	17.39	8.70	74.68	1.11	78.20
4	1970	58.60	68.60	7.75	0.87	1.13	70.37	4.23	0.00525	1.13	69.68	69.68	16.34	8.17	70.49	1.15	73.14
5	1971	36.30	68.40	6.20	0.84	0.99	67.73	4.23	0.00517	0.99	66.17	66.17	15.49	7.74	67.11	1.19	69.14
6	1972	67.40	67.40	5.17	0.81	0.86	65.42	4.21	0.00479	0.86	63.24	63.24	14.76	7.38	64.24	1.24	65.81
7	1973	68.60	61.70	4.43	0.77	0.75	63.33	4.12	0.00282	0.75	60.70	60.70	14.13	7.07	61.73	1.29	62.93
8	1974	39.00	61.30	3.88	0.74	0.65	61.40	4.12	0.00269	0.65	58.46	58.46	13.56	6.78	59.48	1.35	60.39
9	1975	48.80	58.70	3.44	0.71	0.55	59.60	4.07	0.00193	0.55	56.43	56.43	13.05	6.52	57.42	1.41	58.09
10	1976	57.50	58.60	3.10	0.68	0.46	57.88	4.07	0.00191	0.46	54.57	54.57	12.57	6.28	55.52	1.48	55.98
11	1977	68.40	57.50	2.82	0.65	0.37	56.24	4.05	0.00162	0.37	52.84	52.84	12.12	6.06	53.73	1.55	54.03
12	1978	61.70	57.33	2.58	0.61	0.29	54.65	4.05	0.00157	0.29	51.22	51.22	11.69	5.85	52.05	1.63	52.20
13	1979	75.30	48.80	2.38	0.58	0.20	53.10	3.89	0.00011	0.20	49.69	49.69	11.29	5.64	50.44	1.72	50.46
14	1980	38.90	47.80	2.21	0.55	0.12	51.57	3.87	0.00004	0.12	48.23	48.23	10.90	5.45	48.90	1.82	48.81
15	1981	87.30	45.60	2.07	0.52	0.04	50.06	3.82	0.00000	0.04	46.82	46.82	10.52	5.26	47.41	1.94	47.22
16	1982	35.00	40.20	1.94	0.48	-0.04	48.55	3.69	0.00063	-0.04	45.46	45.46	10.16	5.08	45.96	2.07	45.68
17	1983	57.33	39.60	1.82	0.45	-0.12	47.04	3.68	0.00078	-0.12	44.14	44.14	9.80	4.90	44.53	2.21	44.17
18	1984	45.60	39.41	1.72	0.42	-0.20	45.51	3.67	0.00083	-0.20	42.84	42.84	9.45	4.72	43.13	2.38	42.70
19	1985	38.40	39.00	1.63	0.39	-0.29	43.96	3.66	0.00094	-0.29	41.55	41.55	9.10	4.55	41.74	2.58	41.24
20	1986	40.20	38.90	1.55	0.35	-0.37	42.37	3.66	0.00097	-0.37	40.28	40.28	8.75	4.37	40.35	2.82	39.79
21	1987	28.30	38.40	1.48	0.32	-0.46	40.73	3.65	0.00112	-0.46	39.01	39.01	8.40	4.20	38.95	3.10	38.33
22	1988	99.03	36.30	1.41	0.29	-0.55	39.01	3.59	0.00192	-0.55	37.72	37.72	8.04	4.02	37.54	3.44	36.86
23	1989	33.66	35.00	1.35	0.26	-0.65	37.21	3.56	0.00254	-0.65	36.41	36.41	7.68	3.84	36.10	3.88	35.35
24	1990	39.41	34.88	1.29	0.23	-0.75	35.28	3.55	0.00261	-0.75	35.06	35.06	7.30	3.65	34.61	4.43	33.79
25	1991	30.69	33.66	1.24	0.19	-0.86	33.19	3.52	0.00331	-0.86	33.66	33.66	6.91	3.45	33.05	5.17	32.16
26	1992	33.66	33.66	1.19	0.16	-0.99	30.88	3.52	0.00331	-0.99	32.17	32.17	6.49	3.25	31.39	6.20	30.42
27	1993	39.60	30.69	1.15	0.13	-1.13	28.24	3.42	0.00554	-1.13	30.55	30.55	6.04	3.02	29.58	7.75	28.51
28	1994	34.88	28.30	1.11	0.10	-1.30	25.09	3.34	0.00796	-1.30	28.72	28.72	5.52	2.76	27.54	10.33	26.33
29	1995	20.22	27.56	1.07	0.06	-1.52	21.03	3.32	0.00885	-1.52	26.53	26.53	4.91	2.45	25.11	15.50	23.68
30	1996	27.56	20.22	1.03	0.03	-1.85	14.87	3.01	0.02269	-1.85	23.52	23.52	4.07	2.04	21.79	31.00	19.95

$\Sigma =$	1479.142	$\Sigma =$	114.948	0.133	$\gamma =$	sesgo	0.853	$\mu =$	0.539
$\bar{x} =$		$\bar{x} =$	3.832		$\alpha_1 =$	Alfa	7.942	$\sigma_1 =$	1.125
$\sigma =$	49.305	$\sigma =$	0.371		$\beta_1 =$	beta	5.501	$\alpha =$	0.060
	18.628	$\alpha =$	3.832		$\delta_1 =$	delta	5.612	$\beta =$	40.374
		$\beta =$	0.365		$v =$	v	11.003		

Tabla para la estación Acajete (21136)

No.	Año	Precipitación (mm)	X	Tr = Período de Retorno	F (x)	NORMAL		LOG. NORMAL					PEARSON III			GUMBEL	
						z	x (mm)	ln (x)	[ln (x) - α] ²	z	x (mm)	x	Ji cuadrada	y	x (mm)	x	x (mm)
1	1967	42.43	82.00	31.00	0.97	1.85	67.04	4.41	0.01108	1.85	68.14	68.14	13.77	6.89	73.20	1.03	74.66
2	1968	60.47	61.23	15.50	0.94	1.52	63.48	4.11	0.00270	1.52	63.54	63.54	11.89	5.94	67.16	1.07	67.88
3	1969	40.99	60.47	10.33	0.90	1.30	61.13	4.10	0.00247	1.30	60.67	60.67	10.74	5.37	63.48	1.11	63.83
4	1970	48.27	59.63	7.75	0.87	1.13	59.31	4.09	0.00222	1.13	58.54	58.54	9.90	4.95	60.78	1.15	60.91
5	1971	47.37	59.43	6.20	0.84	0.99	57.79	4.08	0.00216	0.99	56.80	56.80	9.23	4.61	58.63	1.19	58.60
6	1972	59.63	57.63	5.17	0.81	0.86	56.45	4.05	0.00167	0.86	55.33	55.33	8.66	4.33	56.82	1.24	56.68
7	1973	57.63	56.67	4.43	0.77	0.75	55.24	4.04	0.00143	0.75	54.03	54.03	8.17	4.09	55.25	1.29	55.02
8	1974	42.53	54.00	3.88	0.74	0.65	54.13	3.99	0.00084	0.65	52.86	52.86	7.74	3.87	53.86	1.35	53.55
9	1975	42.00	52.37	3.44	0.71	0.55	53.09	3.96	0.00055	0.55	51.79	51.79	7.34	3.67	52.60	1.41	52.22
10	1976	56.67	50.13	3.10	0.68	0.46	52.10	3.91	0.00024	0.46	50.79	50.79	6.98	3.49	51.44	1.48	51.00
11	1977	50.13	48.27	2.82	0.65	0.37	51.15	3.88	0.00007	0.37	49.85	49.85	6.65	3.32	50.36	1.55	49.88
12	1978	61.23	47.93	2.58	0.61	0.29	50.23	3.87	0.00005	0.29	48.96	48.96	6.33	3.17	49.36	1.63	48.82
13	1979	54.00	47.37	2.38	0.58	0.20	49.34	3.86	0.00003	0.20	48.10	48.10	6.03	3.02	48.41	1.72	47.82
14	1980	40.63	45.13	2.21	0.55	0.12	48.45	3.81	0.00001	0.12	47.27	47.27	5.75	2.88	47.50	1.82	46.86
15	1981	59.43	45.00	2.07	0.52	0.04	47.58	3.81	0.00002	0.04	46.47	46.47	5.48	2.74	46.63	1.94	45.94
16	1982	47.93	42.53	1.94	0.48	-0.04	46.71	3.75	0.00021	-0.04	45.68	45.68	5.22	2.61	45.79	2.07	45.05
17	1983	39.00	42.43	1.82	0.45	-0.12	45.84	3.75	0.00023	-0.12	44.90	44.90	4.96	2.48	44.98	2.21	44.18
18	1984	52.37	42.00	1.72	0.42	-0.20	44.96	3.74	0.00029	-0.20	44.13	44.13	4.72	2.36	44.19	2.38	43.33
19	1985	45.13	42.00	1.63	0.39	-0.29	44.06	3.74	0.00029	-0.29	43.35	43.35	4.47	2.24	43.41	2.58	42.49
20	1986	45.00	42.00	1.55	0.35	-0.37	43.14	3.74	0.00029	-0.37	42.58	42.58	4.23	2.12	42.64	2.82	41.65
21	1987	42.00	41.87	1.48	0.32	-0.46	42.19	3.73	0.00030	-0.46	41.79	41.79	3.99	2.00	41.87	3.10	40.81
22	1988	82.00	40.99	1.41	0.29	-0.55	41.20	3.71	0.00046	-0.55	40.98	40.98	3.76	1.88	41.11	3.44	39.96
23	1989	38.00	40.63	1.35	0.26	-0.65	40.16	3.70	0.00053	-0.65	40.15	40.15	3.52	1.76	40.34	3.88	39.09
24	1990	41.87	39.00	1.29	0.23	-0.75	39.05	3.66	0.00093	-0.75	39.28	39.28	3.27	1.64	39.55	4.43	38.19
25	1991	36.00	38.82	1.24	0.19	-0.86	37.84	3.66	0.00098	-0.86	38.36	38.36	3.02	1.51	38.75	5.17	37.25
26	1992	38.00	38.00	1.19	0.16	-0.99	36.50	3.64	0.00124	-0.99	37.36	37.36	2.76	1.38	37.91	6.20	36.24
27	1993	42.00	38.00	1.15	0.13	-1.13	34.98	3.64	0.00124	-1.13	36.26	36.26	2.48	1.24	37.01	7.75	35.14
28	1994	38.82	36.00	1.11	0.10	-1.30	33.16	3.58	0.00203	-1.30	34.98	34.98	2.17	1.09	36.03	10.33	33.88
29	1995	28.95	33.90	1.07	0.06	-1.52	30.82	3.52	0.00314	-1.52	33.40	33.40	1.82	0.91	34.91	15.50	32.35
30	1996	33.90	28.95	1.03	0.03	-1.85	27.26	3.37	0.00719	-1.85	31.15	31.15	1.37	0.68	33.46	31.00	30.19

$\bar{x} = 1414.40$
 $\sigma = 47.147$
 10.75877041

$\Sigma = 114.904$ 0.045
 $\bar{x} = 3.830$
 $\sigma = 0.215$
 $\alpha = 3.830$
 $\beta = 0.212$

$\gamma =$ sesgo 1.190861204 $\mu_y = 0.53948$
 $\alpha_1 =$ Alfa 6.406101142 $\sigma_y = 1.12528$
 $\beta_1 =$ beta 2.820575291 $\alpha = 0.104591878$
 $\delta_1 =$ delta 29.07764763 $\beta = 41.98858513$
 $v = v$ 5.641150581

Tabla estación Acatzingo de hidalgo (21005)

No.	Año	Precipitación (mm)	X	Tr = Período de Retorno	F (x)	NORMAL		LOG.NORMAL				PEARSON III			GUMBEL		
						z	x (mm)	ln (x)	[ln (x) - α] ²	z	x (mm)	x	II cuadrada	γ	x (mm)	x	x (mm)
1	1967	22.00	100.00	31.00	0.97	1.85	78.58	4.61	0.01947	1.85	83.44	83.44	16.80	8.40	86.93	1.03	89.95
2	1968	69.00	73.30	15.50	0.94	1.52	73.28	4.29	0.00686	1.52	75.17	75.17	14.73	7.37	78.43	1.07	79.83
3	1969	35.00	69.00	10.33	0.90	1.30	69.78	4.23	0.00515	1.30	70.18	70.18	13.47	6.73	73.20	1.11	73.81
4	1970	32.00	64.50	7.75	0.87	1.13	67.07	4.17	0.00354	1.13	66.53	66.53	12.53	6.27	69.35	1.15	69.46
5	1971	59.00	63.20	6.20	0.84	0.99	64.80	4.15	0.00311	0.99	63.62	63.62	11.78	5.89	66.25	1.19	66.01
6	1972	57.50	60.00	5.17	0.81	0.86	62.80	4.09	0.00214	0.86	61.18	61.18	11.15	5.57	63.64	1.24	63.14
7	1973	40.00	59.00	4.43	0.77	0.75	61.01	4.08	0.00187	0.75	59.05	59.05	10.59	5.30	61.37	1.29	60.67
8	1974	59.00	59.00	3.88	0.74	0.65	59.35	4.08	0.00187	0.65	57.15	57.15	10.10	5.05	59.33	1.35	58.48
9	1975	35.50	57.50	3.44	0.71	0.55	57.79	4.05	0.00148	0.55	55.43	55.43	9.65	4.83	57.49	1.41	56.50
10	1976	47.50	55.00	3.10	0.68	0.46	56.32	4.01	0.00092	0.46	53.85	53.85	9.24	4.62	55.78	1.48	54.69
11	1977	40.00	54.30	2.82	0.65	0.37	54.91	3.99	0.00079	0.37	52.37	52.37	8.85	4.43	54.20	1.55	53.00
12	1978	60.00	53.70	2.58	0.61	0.29	53.54	3.98	0.00068	0.29	50.98	50.98	8.49	4.25	52.70	1.63	51.43
13	1979	53.70	53.50	2.38	0.58	0.20	52.20	3.98	0.00064	0.20	49.65	49.65	8.15	4.07	51.28	1.72	49.93
14	1980	40.00	48.90	2.21	0.55	0.12	50.89	3.89	0.00008	0.12	48.39	48.39	7.82	3.91	49.92	1.82	48.51
15	1981	48.00	48.00	2.07	0.52	0.04	49.58	3.87	0.00003	0.04	47.16	47.16	7.50	3.75	48.62	1.94	47.14
16	1982	54.30	47.50	1.94	0.48	-0.04	48.29	3.86	0.00001	-0.04	45.98	45.98	7.19	3.60	47.35	2.07	45.81
17	1983	64.50	46.70	1.82	0.45	-0.12	46.99	3.84	0.00000	-0.12	44.81	44.81	6.89	3.45	46.11	2.21	44.52
18	1984	53.50	41.20	1.72	0.42	-0.20	45.67	3.72	0.00050	-0.20	43.67	43.67	6.60	3.30	44.90	2.38	43.25
19	1985	55.00	40.00	1.63	0.39	-0.29	44.33	3.69	0.00077	-0.29	42.54	42.54	6.31	3.15	43.71	2.58	41.99
20	1986	41.20	40.00	1.55	0.35	-0.37	42.97	3.69	0.00077	-0.37	41.41	41.41	6.02	3.01	42.52	2.82	40.74
21	1987	39.69	40.00	1.48	0.32	-0.46	41.55	3.69	0.00077	-0.46	40.27	40.27	5.73	2.87	41.33	3.10	39.49
22	1988	32.29	39.69	1.41	0.29	-0.55	40.08	3.68	0.00085	-0.55	39.12	39.12	5.44	2.72	40.14	3.44	38.22
23	1989	36.59	36.59	1.35	0.26	-0.65	38.52	3.60	0.00194	-0.65	37.94	37.94	5.15	2.57	38.92	3.88	36.92
24	1990	30.20	35.50	1.29	0.23	-0.75	36.86	3.57	0.00245	-0.75	36.72	36.72	4.84	2.42	37.68	4.43	35.58
25	1991	63.20	35.00	1.24	0.19	-0.86	35.07	3.56	0.00272	-0.86	35.45	35.45	4.53	2.26	36.39	5.17	34.18
26	1992	48.90	32.29	1.19	0.16	-0.99	33.07	3.47	0.00447	-0.99	34.08	34.08	4.20	2.10	35.02	6.20	32.68
27	1993	30.50	32.00	1.15	0.13	-1.13	30.80	3.47	0.00469	-1.13	32.59	32.59	3.84	1.92	33.56	7.75	31.03
28	1994	46.70	30.50	1.11	0.10	-1.30	28.09	3.42	0.00597	-1.30	30.90	30.90	3.45	1.72	31.93	10.33	29.16
29	1995	100.00	30.20	1.07	0.06	-1.52	24.59	3.41	0.00625	-1.52	28.85	28.85	2.98	1.49	30.01	15.50	26.88
30	1996	73.30	22.00	1.03	0.03	-1.85	19.29	3.09	0.01874	-1.85	25.99	25.99	2.36	1.18	27.47	31.00	23.67

$\bar{x} = 48.935$
 $\sigma = 16.03594036$
 $\bar{x} = 1468.06$

$\bar{x} = 115.226$
 $\sigma = 3.841$
 $\alpha = 3.841$
 $\beta = 0.316$
 $\sigma = 0.321$

$y = 1.027588013$
 $\alpha_1 = \text{Alfa} = 8.239170042$
 $\beta_1 = \text{beta} = 3.788104338$
 $\delta_1 = \text{delta} = 17.72458644$
 $v = v = 7.576208676$
 $\mu_y = 0.53948$
 $\sigma_y = 1.12528$
 $\alpha = 0.070172374$
 $\beta = 41.24749646$

Pendiente método Taylor-Schawrtz

	Desnivel	10.00		
Número	L	S	raíz(S)	l/raíz(s)
1	1213.45	0.01	0.09	13.33
2	1028.17	0.01	0.10	10.39
3	979.27	0.01	0.10	9.65
4	725.07	0.01	0.12	6.14
5	1019.59	0.01	0.10	10.26
6	664.72	0.02	0.12	5.39
7	334.46	0.03	0.17	1.91
8	541.08	0.02	0.14	3.95
9	337.72	0.03	0.17	1.94
10	184.33	0.05	0.23	0.78
11	99.86	0.10	0.32	0.30
13	229.43	0.04	0.21	1.08
14	229.43	0.04	0.21	1.08
15	374.03	0.03	0.16	2.26
16	280.22	0.04	0.19	1.46
17	212.59	0.05	0.22	0.96
18	200.14	0.05	0.22	0.88
19	156.98	0.06	0.25	0.61
20	197.68	0.05	0.22	0.86
21	188.06	0.05	0.23	0.80
22	50.13	0.20	0.45	0.10
23	126.71	0.08	0.28	0.44
24	51.49	0.19	0.44	0.11
25	126.98	0.08	0.28	0.44
26	135.46	0.07	0.27	0.48
27	108.50	0.09	0.30	0.34
28	136.06	0.07	0.27	0.49
29	99.82	0.10	0.32	0.30
30	93.27	0.11	0.33	0.27
31	109.24	0.09	0.30	0.35
32	41.73	0.24	0.49	0.08
33	54.93	0.18	0.43	0.12
34	29.34	0.34	0.58	0.04
35	23.61	0.42	0.65	0.03
36	24.91	0.40	0.63	0.03
37	45.37	0.22	0.47	0.09
38	31.69	0.32	0.56	0.05

39	28.77	0.35	0.59	0.04
40	22.91	0.44	0.66	0.03
41	20.56	0.49	0.70	0.02
42	20.97	0.48	0.69	0.02
43	13.49	0.74	0.86	0.01
Suma	10.93			79.87

Elección de tipo de bomba

1.- CÁLCULO DE LA CARGA DINÁMICA TOTAL		
CDT = HdB + HT + HV + Hserv		
Niveles del esquema del pozo, conducción y tanque de regulación.		
Nivel de descarga en el tanque (N.D.T.) =	2283.73	MSNM
Nivel de superficie de agua en el tanque (N.S.A.T.) =	2282.73	MSNM
Tirante de agua en el tanque (htan) =	2	m
Nivel de piso en el tanque (N.P.T.) =	2279.7301	MSNM
Altura de estructura en el tanque (Htan) =	15	m
Nivel de terreno natural en el tanque (N.T,N.tanq) =	2264.7301	MSNM
Nivel de terreno natural en el tren de descarga (N.T.N.tren) =	2264.926	MSNM
Nivel estático (N.E.) =	2260.926	MSNM
Nivel dinámico (N.D.) =	2258.926	MSNM
Altura de sumergencia (S) =	1	m
Nivel de columna (Ncol) =	2257.926	MSNM
Longitud columna de succión (N.T.N.tren-Ncol) =	7	m
Cadenamiento tren de descarga =	0+000	
Cadenamiento descarga al tanque =	0+068	
1.a Carga dinámica de bombeo (HdB)		
El esquema en estudio no presenta carga de succión debido a que la bomba es de tipo sumergible, sólo presenta descarga, por lo tanto la carga estática total es:		
$HdB = N.D.T. - N.D.$		
Carga dinámica de bombeo (HdB) =	24.804	m

Datos:		
Gasto de bombeo (Qb) =	46.64	l/s
$D_t = 1.128 * \sqrt{Qb}$		
Diámetro teórico (Dt) =	0.243606219	m
	9.591	in

Diámetro económico (De) =	203.200	mm
	8	in
Velocidad media (V = Qb/A)	1.43820652	m/s

Número de Reynolds (Re)	365304.456
-------------------------	------------

Material propuesto =	Acero al Carbón	
Rugosidad absoluta (ϵ) =	0.15	mm
Rugosidad relativa =	0.000738189	

Resumen de pérdidas totales.			
Método	hf (m)	hL (m)	HT (m)
Darcy-Weisbach	7.383	0.738	8.122
Hazen-Williams	0.843	0.084	0.927
Chezy-Manning	0.997	0.100	1.097

1.e.- Carga Dinámica Total (CDT)	
Método	CDT (m)
Darcy-Weisbach	34.031
Hazen-Williams	26.837
Chezy-Manning	27.006

Método	Potencia (HP)
Darcy-Weisbach	27.846
Hazen-Williams	21.959
Chezy-Manning	22.098

Se selecciona Hazen-Williams

QB (l/s)	Método	Potencia (HP)	CDT (mca)
46.64	Hazen-Williams	21.959	26.837

Código	Dimpulsor	Qb		CDTB	Pb	Efi. (%)
		GPM	l/s			
"-1-A"	8	739.34	46.64	100	30	76
Proyecto:		739.34	46.64	26.837	22	

Bibliografía

- Acevedo, A. D. (2009). *ollas de agua, jagüeyes, cajas de agua o aljibes*. Recuperado el 6 de Junio de 2021, de SAGARPA: <https://es.slideshare.net/demetriofernandez313/ollas-de-agua-jageyes-cajas-de-agua-o-aljibes-2da-ed>
- agropecuarias, I. d. (2000). *Estimación de la demanda de agua en los cultivos*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9851/CNR-0244.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agua, C. N. (2008). *Boletín del Archivo Histórico del Agua. Captación de agua de lluvia*. Recuperado el Abril de 2021, de Boletín del Archivo Histórico del Agua. Captación de agua de lluvia: http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/captacion_agua_lluvia.pdf
- agua, C. n. (2021). *Catálogo general de precios unitarios para la construcción de sistemas de agua potable y alcantarillado*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/623785/Cat_logo_General_de_Agua_Potable_de_Precios_Unitarios_para_la_Construccion_de_Sistemas_de_Agua_Potable_y_Alcantarillado_2021.pdf
- Alejandro De La Ossa-Lacayo, J. M.-B. (2017). *Revista colombiana de ciencia animal*. Recuperado el 28 de mayo de 2021, de Revista colombiana de ciencia animal: <http://www.scielo.org.co/pdf/recia/v9n1/2027-4297-recia-9-01-00098.pdf>
- Alocén, J. C. (Octubre de 2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Honduras: PESA Honduras. Obtenido de Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA).
- Alocen, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Obtenido de Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego: <https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>
- Arcgis. (2020). *APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL PARA EL CÁLCULO DE LA CUENCA DEL RÍO CINTO Y SU CONFLUENCIA CON LA QUEBRADA TAYANGO*. Obtenido de APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL PARA EL CÁLCULO DE LA CUENCA DEL RÍO CINTO Y SU CONFLUENCIA CON LA QUEBRADA TAYANGO: <https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=1d0861da69d741f5b31e13caae79ab1f>
- C.V, D. m. (MARZO de 2021). *Distribuidora metálica S.A de C.V*. Obtenido de Distribuidora metálica S.A de C.V: https://www.metalica.com.mx/pdf/DM_TUBERIA.pdf
- C.V., D. m. (1 de Abril de 2022). *DM Distribuidora metálica S.A. de C.V. Acero inoxidable para el futuro*. Obtenido de DM Distribuidora metálica S.A. de C.V. Acero inoxidable para el futuro: https://www.metalica.com.mx/pdf/DM_TUBERIA.pdf

- Chow, V. T. (2004). *Hidraulica de canales abiertos*. Obtenido de hidraulica de canales abiertos: <https://www.udocz.com/mx/apuntes/10448/ven-te-chow---hidraulica-de-canales-abiertos>
- CONAGUA. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Obtenido de Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento
- CONAGUA. (Noviembre de 2009). *CONAGUA*. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de Semblanza historica del agua en México: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHistóricaMéxico.pdf>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable potable alcantarillado y saneamiento*. Obtenido de obras de captación superficiales: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro7.pdf>
- CONAGUA. (1 de 06 de 2022). *Manual de Agua Potable,Alcantarillado y Saneamiento*. Obtenido de Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>
- CONAGUA. (S/F). *CONAGUA*. Recuperado el 26 de mayo de 2021, de CONAGUA : <https://www.nationalgeographic.es/photoaquae/2019/03/11-datos-interesantes-sobre-el-agua>
- CRESCO. (Enero de 2021). *Catálogo conexión y tubería*. Obtenido de Catálogo conexión y tubería: <https://www.rsi.com.mx/catalogos/cresco.pdf>
- Distribuciones estadísticas*. (Marzo de 2008). Obtenido de https://hidrologia.usal.es/Complementos/estadistica/distr_esta.pdf
- Dominguez, Á. y. (2013). *Estimaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración*. Obtenido de Estimaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración: <https://ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos13-2/ecuaciones-33-2.pdf>
- FAO. (noviembre de 2021). *Evapotransporacion de cultivo*. Obtenido de Evapotransporacion de cultivo: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO. (S/F). *Uso agrícola del agua*. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de Uso agrícola del agua : <http://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s03.htm#:~:text=El%20agua%20que%20necesitan%20los,por%20tonelada%20de%20cereal%20cosechada.>
- Felices, D. I. (AGOSTO de 2003). *LA BOCATOMA, ESTRUCTURA CLAVE EN UN PROYECTO DE APROVECHAMIENTO HIDRAULICO*. Obtenido de LA BOCATOMA, ESTRUCTURA CLAVE EN UN PROYECTO DE APROVECHAMIENTO HIDRAULICO: http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/La_bocatoma.PDF
- Fundamentos teóricos para el calculo de caudales máximos*. (s.f.). Obtenido de Fundamentos teóricos para el calculo de caudales máximos:

<https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00245/doc00245-seccion%20c.pdf>

- Galindo E., P. J. (Octubre de 2007). *Scielo* . Recuperado el 30 de Mayo de 2021, de Agrociencia: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000200011
- García, S. (15 de marzo de 2019). *National Geographic* . Recuperado el 26 de mayo de 2021, de National Geographic : <https://www.nationalgeographic.es/photoaque/2019/03/11-datos-interesantes-sobre-el-agua>
- Hidalgo, U. M. (Enero de 2018). *Obras Hidraulicas*. Obtenido de Obras hidraulicas: <http://hidraulica.umich.mx/bperez/OBRAS%20HIDRAULICAS-ENERO-18%20V5.pdf>
- Horticultura, R. C. (1999). *Uso consuntivo del cultivo del aguacate: metodologia blaney y criddle modificada relacionando fenologia y precipitacion* . Obtenido de Uso consuntivo del cultivo del aguacate: metodologia blaney y criddle modificada relacionando fenologia y precipitación: http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p201.pdf
- Jorge Julian Velez, A. B. (2011). *Universidad de colombia*. Obtenido de ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640/26095>
- Juárez, H. A. (s.f.). *Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México*. Recuperado el 10 de Marzo de 2021, de Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21118a.html#:~:text=Su%20principal%20actividad%20económica%20es%20la%20Agricultura%3B%20tien en%20un%20población,cabecera%20municipal%20de%208%20kilómetros>
- Lima, S. g. (2011). *ciclo hidrológico*. Obtenido de Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la gestion integral del recurso hidrico: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrológico.pdf
- Losilla, m. (13 de Septiembre de 1999). *Modelo analítico para determinar la infiltracion con base en la lluvia mensual*. Obtenido de Modelo analítico para determinar la infiltracion con base en la lluvia mensual: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjvi6uD64L1AhXglWoFHdrfC_oQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Frevistas.ucr.ac.cr%2Findex.php%2Fgeologica%2Farticle%2Fdownload%2F8579%2F8102%2F&usg=AOvVaw3ML3pBxgbqXbGVnd6vPxEi
- Navarro, M. A. (2007). *ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE* . Obtenido de ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, PARA CAUDALES MÁXIMOS, EN LA REGIÓN DEL MAULE : http://ctha.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/aguilera_a.pdf

- NOVAGRIC. (2016). *Instalaciones de riego*. Obtenido de Instalaciones de riego:
<https://www.novagric.com/es/riego/servicios/instalaciones-de-riego>
- Puebla, D. S. (14 de Septiembre de 2014). SAGARPA. Recuperado el 10 de Marzo de 2021, de SAGARPA: <https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/es/articulos/sagarpa-y-municipio-de-los-reyes-de-juarez-realizan-expo-horticola-2014>
- Puente, M. A. (Marzo de 2021). *inventio, La génesis de la cultura universitaria en Morelos* . Recuperado el 30 de Mayo de 2021, de inventio, La génesis de la cultura universitaria en Morelos : <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/513/900>
- regadíos, P. n. (2008). *Demanda y consumo de agua para riego* . Recuperado el 6 de Junio de 2021, de https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/apartado4-9_tcm30-150011.pdf
- Rizo, E. (15 de Marzo de 2015). *Hortalizas*. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de Demanda de agua por cultivo : <https://www.hortalizas.com/cultivos/demanda-de-agua-por-cultivo/#:~:text=Demanda%20de%20agua%20de%20sus,de%20no%20perjudicar%20su%20rendimiento.>
- rural, S. d. (24 de Octubre de 2016). *Secretaría de agricultura desarrollo rural* . Recuperado el 5 de Junio de 2021, de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tipos-de-cultivo-estacionalidad-y-ciclos>
- rural, S. d. (17 de Mayo de 2016). *Secretaría de agricultura y desarrollo rural* . Recuperado el 5 de Junio de 2021, de [https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/sabes-lo-que-es-una-hortaliza#:~:text=Se%20le%20denomina%20hortaliza%20al,guisantes%20\(arvejas%20o%20chicharos\).](https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/sabes-lo-que-es-una-hortaliza#:~:text=Se%20le%20denomina%20hortaliza%20al,guisantes%20(arvejas%20o%20chicharos).)
- rural, S. d. (14 de Noviembre de 2016). *Secretaría de agricultura y desarrollo rural* . Recuperado el 5 de Junio de 2021, de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/arboles-frutales-delicias-al-alcance-de-la-mano>
- rural, S. d. (S/F). *Normatividad para la generacion de estadística básica agropecuaria y pesquera*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/normatividad_agropecuaria/Normatividad_TGEBAP.pdf
- SAGARPA. (Agosto de 2010). *Riego por gravedad*. Obtenido de Riego por gravedad:
<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Riego-por-gravedad.pdf>
- SAGARPA. (6 de Octubre de 2015). *Secretaría de agricultura y desarrollo rural*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de Secretaría de agricultura y desarrollo rural:
[https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/cereal-el-alimento-del-mundo#:~:text=Los%20cereales%20\(de%20Ceres%2C%20diosa,sorgo%20y%20centeno%20entre%20otros.](https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/cereal-el-alimento-del-mundo#:~:text=Los%20cereales%20(de%20Ceres%2C%20diosa,sorgo%20y%20centeno%20entre%20otros.)

- SAGARPA. (2016). *Planeación agrícola nacional 2016-2030*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/TPS/pdf/03-planeacion-agricola-nacional-sagarpa.pdf>
- SAGARPA. (20 de Mayo de 2016). *Secretaría de agricultura y desarrollo rural*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de Secretaría de agricultura y desarrollo rural: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/legumbre-o-leguminosa#:~:text=Las%20leguminosas%20son%20las%20plantas,legumbres%20m%C3%A1s%20conocidos%20y%20consumidos.>
- SAGARPA. (2020). *Cierre de la producción agrícola*. Obtenido de Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SAGARPA. (S/F). *Diseño y construcción de jagüeyes*. Recuperado el 7 de Junio de 2021, de https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/170/8fa/Dise--o-y-Construcci--n-de-Jagueyes.pdf
- Stauffer, B. (2018). *Captacion de rios, lagos y embalses*. Obtenido de Captacion de rios, lagos y embalses: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos-y-embalses-%28reservorios%29>
- Tomanguillo, B. F. (13 de Octubre de 2013). *Diseño hidraulico de canales*. Obtenido de Diseño hidraulico de canales: <https://es.slideshare.net/brayanfernandoguzmantomanguillo/diseo-hidraulico-de-canales-exponer>
- UNAM, I. d. (s.f.). *Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales*. Obtenido de Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de ciclones tropicales: https://www1.cenapred.unam.mx/SUBCUENTA/23a%20SESI%C3%93N%20ORDINARIA/PUNTO_Proyecto_Puentes/Actividades%205.1%20y%205.2/01%20Antes%20de%20la%20temporada%20de%20huracanes/08%20SIN%20NOMBRE/08%20SN%201.pdf
- Valdez, E. C. (1994). *Abastecimiento de agua potable*. México.