

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN TÉCNICA DEL AGUA EN EL SISTEMA DE RIEGO
ARTEZÓN, SECTOR EL ÁNGEL - GARCÍA MORENO BLOQUES 1 - 2, CARCHI,
2013**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

LEONARDO ALBERTO ANALUISA PICHUCHO

QUITO – ECUADOR

2015

DEDICATORÍA

A mis hermanos Patricia, Ramiro, Carlos, David y Josselyn, dedico este logro con infinito amor, pero en gran parte a mi madre Rosa Pichucho y a mi padre Néstor Analuisa, los cuales con el pasar de cada día son el impulso de seguir trazándome nuevas metas, con su ejemplo he venido luchando cada etapa de mi vida, proyectado más desafíos hasta alcanzar la metas, cada valor que me han enseñado paso a paso entre los cuales resalto la responsabilidad, perseverancia, sabiduría, todas estas han llevado a que me realice profesionalmente, son los tutores en todos mis logros.

AGRADECIMIENTOS

Al tutor de esta investigación al Ing. Agr. Carlos Montúfar por la asesoría técnica, paciencia y por brindarme su valioso tiempo.

A la Compañía Consultora Agroprecisión quien me abrió las puertas para ser partícipe de muchos conocimientos técnicos, pero en especial a uno de los grandes sabios, quien puso toda la confianza en mí para poder finalizar la investigación al Ing. Agr. Hernán Velásquez, quién no solo es un gran técnico es también un gran ser humano.

A mis profesores de la Facultad de Ciencias Agrícolas al Dr. Venancio Aranaha y a la Ing. Aída Arteaga por las recomendaciones y sugerencias en la realización de este documento.

A mis amigos “Bachilleres” y “Vendetta” por estar presentes en los momentos buenos y malos de toda la carrera

A Erika mi amiga, compañera de estos últimos años por escucharme y enseñarme a sobresalir de cada inconveniente.

”Yupaichani”

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, LEONARDO ALBERTO ANALUISA PICHUCHO. En calidad de autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre el **"ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN TÉCNICA DEL AGUA EN EL SISTEMA DE RIEGO EL ARTEZÓN, SECTOR EL ÁNGEL - GARCÍA MORENO, BLOQUES 1 - 2, CARCHI 2013."****"STUDY FOR THE TECHNICAL DISTRIBUTION OF WATER IN THE ARTEZÓN IRRIGATION SYSTEM, IN THE AREA OF EL ÁNGEL - GARCÍA MORENO, BLOCKS 1 - 2, CARCHI 2013."**Por la presente autorizo a la Universidad Central del Ecuador, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o partes de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigente a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5,6,8,19 y demás pertinentes de la Ley Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 18 de diciembre del 2015.



FIRMA

C.C. 1718902032

leo.jm.tkdo@gmail.com

CERTIFICADO

En calidad de tutor del trabajo de graduación cuyo título es: "**ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN TÉCNICA DEL AGUA EN EL SISTEMA DE RIEGO EL ARTEZÓN, SECTOR EL ÁNGEL - GARCÍA MORENO, BLOQUES 1 - 2, CARCHI 2013.**", presentado por el señor LEONARDO ALBERTO ANALUISA PICHUCHO, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, considero que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

Quito, 18 de diciembre del 2015



Ing. Agr. Carlos Montúfar, M. Sc.
TUTOR

Quito, 18 de diciembre de 2015

Ingeniero

Carlos Alberto Ortega, M. Sc.

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

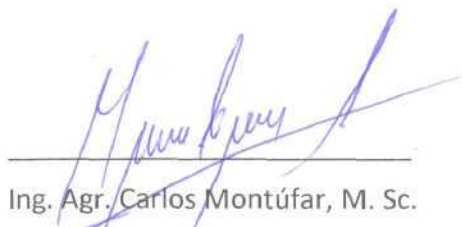
Presente.

Señor Director:

Luego de las revisiones técnicas realizadas por mi persona del trabajo de graduación **"ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN TÉCNICA DEL AGUA EN EL SISTEMA DE RIEGO EL ARTEZÓN, SECTOR EL ÁNGEL - GARCÍA MORENO, BLOQUES 1 - 2, CARCHI 2013."**, llevada a cabo por parte del señor egresado: LEONARDO ALBERTO ANALUISA PICHUCHO, de la carrera de Ingeniería Agronómica, ha concluido de manera exitosa, consecuentemente el indicado estudiante podrá continuar con los tramites de graduación correspondientes de acuerdo a lo que estipula las normativas y disposiciones legales.

Por la atención que se digne dar a la presente, reitero mi agradecimiento.

Atentamente,



Ing. Agr. Carlos Montúfar, M. Sc.

TUTOR

ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN TÉCNICA DEL AGUA EN EL SISTEMA DE RIEGO EL ARTEZÓN, SECTOR EL ÁNGEL - GARCÍA MORENO, BLOQUES 1 - 2, CARCHI 2013

APROBADO POR:

Ing. Agr. Carlos Montúfar, M. Sc.
TUTOR



Lic. Diego Salazar, M.Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Agr. Aida Arteaga, M.Sc.
PRIMER VOCAL DEL TRIBUNAL



Dr. Venancio Arahana, Ph.D.
SEGUNDO VOCAL DEL TRIBUNAL



2015

CONTENIDO

CAPÍTULO	PÁGINAS
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1. General	2
1.1.2. Específicos	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Normativa y competencia del riego	3
2.1.1. Aspectos constitucionales en el Ecuador para la gestión del agua	3
2.1.2. Gestión del recurso hídrico	3
2.1.3. Recursos hídricos en la provincia del Carchi	4
2.1.4. Riego en la provincia del Carchi	4
2.2. Levantamiento de los sistemas de distribución de agua existentes	4
2.2.1. Sistemas de riego	4
2.2.2. Características de las redes de riego	3
2.2.4. Cómo hacer el inventario de la redes de riego	8
2.2.6. Análisis de la distribución de agua en la red	8
2.2.7. Red de riego	9
2.2.8. Individualización predial	10
2.3. Requerimiento hídrico de los cultivos	11
2.3.1. Caracterización de los recursos naturales	11
2.3.2. Requerimiento máximo de los cultivos	14
2.3.3. Software para programar el riego (Cropwat)	17
2.3.4. Designación de las zonas de riego	17

CAPÍTULO	PÁGINAS
2.4. Tecnificación del riego	19
2.4.1. Aplicación sustentable del riego	19
2.4.2. Criterios de selección del método de riego	20
2.4.3. Sistema de gestión de base de datos y SIG	22
2.4.4. Planes de riego	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Zona de estudio	24
3.1.1. Demografía	24
3.1.2. Estructura producción agraria	24
3.1.3. Ubicación	25
3.1.4. Antecedentes en el sistema de riego Artezón	26
3.1.5. Recurso Hidrográfico	26
3.1.6. Características climatológicas	28
3.1.7. Importancia de la estación meteorológica de referencia	28
3.2. Condiciones climáticas	28
3.2.2. Temperatura	29
3.2.3. Precipitación	30
3.2.4. Velocidad y dirección del viento	31
3.2.5. Humedad Relativa	31
3.2.6. Diagrama ombrotérmico de Gaussen	34
3.2.6.1. Importancia del diagrama ombrotérmico	33
3.2.6.2. Márgenes de error en el diagrama ombrotermico	33
3.3. Suelos	34

CAPÍTULO	PÁGINAS
3.4. Materiales	35
3.4.1. Equipos	35
3.4.2. Materiales de campo	36
3.4.3. Software	36
3.4.4. Información secundaria	36
3.4.5. Fotografías aéreas	36
3.5. Metodología	37
3.5.1. Levantamiento de sistemas de distribución de agua existentes	37
3.5.2. Requerimiento hídrico de los cultivos	38
3.5.3. Propuesta para la distribución técnica del agua de riego	46
3.5.4. Elaboración de cartografía	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Levantamiento de los sistemas de distribución de agua existentes	52
4.1.1. Fuentes del sistema de riego	52
4.1.2. Canales del sistema	52
4.1.3. Canales primarios	52
4.1.4. Canales secundarios	52
4.1.5. Individualización predial rural	55
4.1.6. Tamaño de la zona de estudio	56
4.2. Requerimiento hídrico de los cultivos	57
4.2.1. Uso y cobertura de la tierra	57
4.2.2. Uso del agua	59
4.2.3. Cálculo de requerimiento hídrico	60
4.2.4. Requerimiento Hídrico	65

CAPÍTULO		PÁGINAS
4.3.	Propuesta de distribución técnica de agua	68
4.3.1.	Unificación de canales	68
4.3.2.	Tierras con fines de riego en el proyecto Artezón	70
4.3.3.	Demanda del caudal de los cultivos para los bloques 1 y 2	74
4.3.4.	Análisis de oferta de caudal en el sistema de riego Artezón	75
4.3.5.	Red de riego con distribución técnica	77
4.3.6.	Zonas aptas de los cultivos	78
5.	CONCLUSIONES	79
6.	RECOMENDACIONES	80
7.	RESUMEN	81
8.	SUMMARY	84
9.	REFERENCIA	86
10.	ANEXOS	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁG.
1. Mapa del polígono de estudio del bloque 1-2 para el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014	92
2. Mapa de individualización predial del bloque 1-2 para el proyecto de riego El Artezón, El Ángel, Carchi. 2014	93
3. Mapa de uso y cobertura de la tierra del bloque 1-2 para el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi.2014.	94
4. Mapa uso del agua para el bloque 1-2 en el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014	95
5. Mapa de puntos de muestro del bloque 1-2 para el proyecto riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014	96
6. Mapa de lámina de almacenamiento del bloque 1-2 para el proyecto riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014	97
7. Mapa velocidad de infiltración del bloque 1-2 para el proyecto riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014	98
8. Mapa de pendientes del bloque 1 y 2, para el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi.2014	99
9. Mapa de clasificación de tierras con fines de riego del bloque 1-2, para el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014	100
10. Mapa de distribución técnica del agua del bloque 1 - 2 para el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014	101
11. Mapa de unificación de canales de riego para el proyecto de riego El Artezón, Carchi. 2014	102
12. Mapa de los sub bloques de riego del bloque 1-2 para el proyecto de riego El Artezón, El Ángel, Carchi. 2014	103
13. Series climáticas registradas por la estación meteorológica El Ángel bloques 1-2 en el proyecto de riego Artezón, Carchi.2014.	104
14. Valores de las propiedades físicas de los suelos que intervienen en la interpolación para el sistema de riego Artezón 2013	112
15. Tablas de interpretación	115
16. Reporte de análisis físicos de laboratorio de los suelos muestreados para el sistema de riego Artezón 2013	117
17. Fotografías	118

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁG.
1. Variables a considerar para el diseño de redes de riego	9
2. Velocidad de infiltración para diversos tipos de suelo	13
3. Requerimientos edafoclimáticos para los cultivos en el sistema de riego Artezón	21
4. Principales cultivos transitorios por superficie y producción en la provincia del Carchi	25
5. Datos de la velocidad del viento mensuales registradas por la estación meteorológica El Ángel, para el período 1974 a 2012, Carchi	30
6. Valores de precipitación y temperatura en la elaboración del diagrama ombrotérmico para el período de 1974 a 2012, El Ángel, Carchi	32
7. Datos del coeficiente en el crecimiento inicial medio y final, de los principales cultivos, para el sistema de riego El Artezón, bloques 1 y 2 Carchi, 2013	41
8. Datos de la profundidad radicular inicial y final de crecimiento, con la altura de los principales cultivos en el sistema de riego El Artezón, Carchi, 2013	42
9. Fracción de agotamiento crítico de la humedad en el suelo para cultivos principales en diferentes etapas de crecimiento, para el sistema de riego El Artezón, bloques 1 y 2, Carchi ,2013	42
10. Factor de respuesta de la productividad (ky) delos principales cultivos por etapa de crecimiento para el sistema de riego El Artezón, bloques 1 y 2 Carchi, 2013	43
11. Canales y acequias existentes en el sistema de riego El Artezón, 2013	52
12. Estratificación de predios basado en la superficie, bloque 1, sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014	54
13. Estratificación de predios basados en la superficie, bloque 2, sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi.2014	55
14. Área regable, para el bloque 1 y 2 en el sistema riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014	56
15. Datos climáticos obtenidos de la estación de referencia El Ángel, en el sistema de riego Artezón, para el bloque 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014	61

CUADRO		PÁG.
16	Calendario agrícola para el bloque 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014	62
17	Duración de las etapas fenológicas de los cultivos predominantes para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014	63
18	Precipitación efectiva calculada por el programa CROPWAT que influyen en el bloque 1 y 2 El Ángel, Carchi 2014.	63
19	Evapotranspiración del cultivo (Etc) para los bloques 1 y 2 del sistema de riego El Artezón El Ángel, Carchi. 2014	66
20	Requerimiento hídrico de los cultivos para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi. 2014	67
21	Necesidades totales y caudal característico, por cultivo y método de riego para el sistema de riego Artezón	68
22	Demanda de los cultivos para la clase I en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014.	72
23	Demanda de los cultivos para la clase II en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014	73
24	Demanda de los cultivos para la clase III en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014	74
25	Demanda de los cultivos para la clase IV en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014	75
26	Demanda del caudal necesario para los cultivos por clase con fines de riego en sistema del Artezón bloques 1 y 2 Carchi, 2014	76
27	Caudal disponible para la unificación de acequias en el sistema riego El Artezón, Carchi 2013	77
28	Caudal propuesto por superficie en el sistema de riego El Artezón, Carchi 2014	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PÁG.
1. Esquema de un tipo de sistema de riego tradicional	5
2. Ubicación de la zona de estudio (bloques 1-2) en el sistema de riego Artezón Carchi, 2014.	23
3. Clasificación de las cuencas hidrográficas según SENAGUA en la zona de estudio	25
4. Cuencas hidrográficas para el sistema de riego Artezón 2014	25
5. Temperaturas mensuales promedio, registrada por la estación meteorológica El Ángel para el período 1974- 2012, Carchi	27
6. Precipitaciones mensuales promedios, registradas por la estación meteorológica El Ángel para el período 1974-2012, Carchi	27
7. Dirección del viento promedio, registrada por la estación meteorológica El Ángel para el periodo, Carchi.	28
8. Humedad relativa mensual promedio registrada por la estación meteorológica El Ángel para el período 1974-2012, Carchi	29
9. Diagrama Ombrotérmico elaborado con datos de la estación meteorológica El Ángel para el período 1974-2012, Carchi	31
10. Ordenes de suelo en el sistema de riego Artezón bloques 1 y 2, Carchi 2014	35
11. Estructuración del levantamiento de los sistemas de distribución de agua existentes en el área de estudio El Ángel Carchi, 2014	37
12. Estructuración para el cálculo del requerimiento hídrico de los cultivos del bloque 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014	39
13. Puntos de muestreo para el componente de suelos en el sistema de riego Artezón bloque 1 y 2, El ángel, Carchi 2014	44
14. Estructuración de la propuesta técnica en el sistema de riego Artezón bloque 1 y 2 El Ángel, Carchi, 2014	46
15. Canales de riego existentes en el área de estudio del sistema de riego Artezón El Ángel, García Moreno, Carchi, 2014	54
16. Superficie que ocupan los principales cultivos en el sistema de riego Artezón, bloque 1, Carchi 2014	58
17. Superficie que ocupan los principales cultivos en el sistema de riego Artezón, bloque 2, Carchi 2014	59
18. Área agrícola para los bloques 1 y 2 en el proyecto de riego Artezón. El Ángel, Carchi 2014	60

FIGURAS	PÁG.
19. Lámina almacenable para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014	64
20. Velocidad de infiltración para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014	65
21. Propuesta de unificación de canales para el proyecto de riego El Artezón, El Ángel, Carchi, 2014	69
22. Clasificación de tierras con fines de riego para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014	70
23. Porcentaje de clases de tierra en el sistema de riego Artezón bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi.2014	75
24. Red técnica de riego para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego El Artezón, El Ángel, Carchi. 2014	77

ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN TÉCNICA DEL AGUA EN EL SISTEMA DE RIEGO EL ARTEZÓN, SECTOR EL ÁNGEL– GARCIA MORENO, BLOQUES 1 - 2, CARCHI 2013

RESUMEN

En la provincia del Carchi en los sitios El Ángel y García Moreno, se efectuó un estudio de distribución técnica del agua en el sistema de riego El Artezón. La metodología empleada es: levantamiento de los sistemas de distribución de aguas existentes, cálculo del requerimiento hídrico (clima, características físicas del suelo y cultivos), y la propuesta de distribución de agua. Los resultados muestran que existen cuatro canales de riego en la zona de estudio un total de 621 predios con una superficie regable de 2077,8 ha, se determinó el requerimiento hídrico de los cultivos, de haba con $3,52 \text{ mm.día}^{-1}$, la papa con $3,03 \text{ mm.día}^{-1}$ y la cebada con $2,96 \text{ mm.día}^{-1}$. Se calculó el balance hídrico, una oferta del caudal de $719,71 \text{ l.s}^{-1}$ y la demanda de los cultivos de $915,46 \text{ l.s}^{-1}$, con un déficit hídrico de $195,75 \text{ l.s}^{-1}$. La propuesta del ensayo es la unificación de los canales, y la identificación de las zonas aptas para el riego que son las clase I, II, III, con una superficie de 1439,22 ha, y la clase IV con 638,06 ha.

PALABRAS CLAVES: CROPWAT, RIEGO, REQUERIMIENTO HÍDRICO, SUPERFICIE REGABLE.

TECHNICAL WATER DISTRIBUTION STUDY ON THE EL ARTEZON IRRIGATION SYSTEM, SECTOR OF EL ANGEL - GARCIA MORENO, BLOCKS 1 AND 2, CARCHI, 2013

ABSTRACT

This is a study on the technical aspects of the El Artezón water irrigation system, located in the province of El Carchi, in the sectors of El Ángel and García Moreno. The methodology applied herein consists on assessing the existing irrigation system and calculating the area's water requirements through an analysis of its environmental factors, the soil's physical characteristics and existing crops. This work also proposes a water distribution. The results show that there are 4 irrigation canals in the area of study and a total of 621 premises, with a total irrigation surface of 2077.8 ha, the water requirement of the crops were determined, bean was 3,52 mm/día ,the potato was 3,03 mm/día and barley was 2,96 mm/día. The water balance calculation, the 719.71 L/s irrigation supply and the 915.46 L/s irrigation demand, evidences a hydrological deficit of 195.75 L/s. The proposal is to unify both canals, identifying the zones suitable for type I, II and III irrigation, with a 1439.22 ha surface, and a type IV irrigation for a 638.06 ha surface that will be considered provisionally irrigable areas.

KEYWORDS: CROPWAT, IRRIGATION, WATER REQUIREMENT, IRRIGABLE AREA.

Ing. Agr. Carlos Montúfar, M. Sc.

TUTOR

TECHNICAL WATER DISTRIBUTION STUDY ON THE EL ARTEZON IRRIGATION SYSTEM, SECTOR OF EL ANGEL - GARCIA MORENO, BLOCKS 1 AND 2, CARCHI, 2013.

Leonardo Analuisa P.¹ Carlos Montúfar²

ABSTRACT

This is a study on the technical aspects of the El Artezón water irrigation system, located in the province of El Carchi, in the sectors of El Ángel and García Moreno. The methodology applied herein consists on assessing the existing irrigation system and calculating the area's water requirements through an analysis of its environmental factors, the soil's physical characteristics and existing crops by applying the Penman-Montieth evapotranspiration formula, which is the basis of the Cropwat computer program. This work also proposes a water distribution method that takes hydrological balance into consideration (agricultural water demand vs supply).

The results show that there are 4 irrigation canals in the area of study and a total of 621 premises, with a total irrigation surface of 20788.8 ha. There is a high 152.48 mm storage area that occupies a total of 813.1 ha, located in the eastern area of El Ángel, and a low 53.3 mm storage area that covers a total of 488.6 ha, located in the northern and southern areas. The comparison between the 719.71 L/s irrigation supply and the 915.46 L/s irrigation demand, evidences a hydrological deficit of 195.75 L/s. The proposal is to unify both canals, identifying the zones suitable for type I, II and III irrigation, with a 1439.22 ha surface, and a type IV irrigation for a 638.06 ha surface that will be considered provisionally irrigable areas. The technical distribution consists of 7 valves; 4 valves for the first block and 3 valves for the second block.

I CERTIFY that the above and foregoing is a true and correct translation of the original document in Spanish.



Silvia Donoso Acosta
Certified Translator
ID.: 0601890544

Silvia Donoso A.
CERTIFIED TRANSLATOR
ID. # 0601890544

¹Agricultural Engineer, School of Agricultural Sciences, Universidad Central del Ecuador. leo.jm.@gmail.com.

²Agricultural Engineer, M. Sc., Thesis Director. Professor at the School of Agricultural Sciences, Universidad Central del Ecuador. carlosmontufard@hotmail.com.

1. INTRODUCCIÓN

La fuerte presión sobre la tierra para producir más alimentos en cualquier época del año, es un desafío a enfrentarlo en los próximos años; las proyecciones realizadas por el Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, indican que la población mundial pasará de los actuales 6 900 millones de personas a 9 100 millones en el año 2050 FAO, (2011). La cantidad de recursos naturales, que demandará esta población, requiere la optimización de los sistemas de producción actuales, y es el riego y su aplicación un proceso o actividad crucial a ser mejorado, lo cual permitirá la consecución de una agricultura rentable y sostenible.

La agricultura de subsistencia es la actividad económica, de un importante sector de la población ecuatoriana. Particularmente en la provincia del Carchi, cantones Espejo y Bolívar, la principal actividad económica que predomina es la agricultura siendo los principales productos que se cultivan papa, haba, cebada, maíz, alverja y pastos. De esta forma, la agricultura logra incorporar mano de obra local en la producción agrícola (Yandun, 2009).

En las parroquias San Gabriel, La Paz, Bolívar, García Moreno, El Ángel, San Isidro y Mira, de la provincia de Carchi poseen un régimen de pluviosidad deficitario de tres meses al año aproximadamente. Parte de su superficie ha sido atendida por un sistema de riego desarrollado por el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, INERHI, a través del Proyecto Montúfar. Sin embargo, sobre la cota 2.700 m snm, límite superior del canal principal del Proyecto Montúfar, existen suelos que no pudieron ser regados, por tal circunstancia existe la necesidad de cubrir las zonas de riego de las parroquias El Ángel, y García Moreno (INERHI, 1979).

Según Fuertes (2014) los cantones Espejo y Bolívar poseen zonas agroecológicas aptas para la producción agrícola y ganadera; sin embargo, no existe de un adecuado sistema de riego, cuyo principal problema es el transporte deficiente del agua desde los sitios de captación del agua hasta los lugares de consumo, en este proceso se llega a perder hasta un 50 % del caudal en la conducción.

El mismo autor acota que de acuerdo con la resolución CNC 008-2011 del 14 de Julio del 2011, se transfiere de la competencia de planificar, operar y mantener sistemas de riego al Gobierno Provincial del Carchi, con cual se crea un nuevo esquema Administrativo en la gestión de riego en la provincia. En el año 2013, contrata a la compañía consultora Compañía Consultora Agroprecisión para desarrollar los “Estudios Complementarios del Diseño Definitivo de la Rehabilitación del Sistema de Riego Artezón”.

Como parte de esta consultoría, y a fin de coadyuvar con la solución de la problemática presente en el sistema, se establece la necesidad de realizar el presente estudio, a fin de realizar una propuesta técnica de distribución del agua en el sistema de riego El Artezón.

Las actividades realizadas en la presente investigación, involucra el levantamiento de información en los principales sistemas de distribución de agua, desde los sitios de captación hasta los bloques de

estudio, cálculo de requerimiento hídrico de los cultivos, levantamiento del padrón de usuarios, catastro de usuarios.

La investigación alcanzó una propuesta para la gestión de la distribución técnica de riego, donde se plantea los siguientes objetivos.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Formular una propuesta técnica para el aprovechamiento del agua, en base a estudios de requerimiento hídrico de cultivos y superficie regable, en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2.

1.1.2. Específicos

1. Mapear los sistemas de distribución de agua existentes.
2. Determinar el requerimiento hídrico de los cultivos.
3. Realizar una propuesta de distribución técnica de agua en base requerimiento hídrico de los cultivos.

Hipótesis

Ho: En el sistema de riego el Artezón, bloques 1 y 2, el agua está adecuadamente distribuida, debido a que se consideran los parámetros técnicos (superficie regable, requerimientos hídricos y características de suelo)

Ha: En el sistema de riego el Artezón, bloques 1 y 2, el agua no está adecuadamente distribuida, debido a que no se consideran los parámetros técnicos (superficie regable, requerimientos hídricos y características de suelo)

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Normativa y competencia del riego

2.1.1. Aspectos constitucionales en el Ecuador para la gestión del agua

Como lo que consta en el documento de foro de recursos hídricos por Camaren (2013) hace reseña a la Constitución del 2008, que interpreta la importancia al agua en los siguientes artículos:

- El agua es un derecho fundamental e irrenunciable (Art. 12 transitoria 26).
- La planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán al consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, se realizarán en este orden de prelación (Art. 318).
- Establece derechos para las personas usuarias y consumidoras de bienes y servicios (Art. 52 a 54).
- Manda que la gestión de agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias (Art.318).
- Manda reorganizar el otorgamiento de concesiones con criterios de equidad y el orden de los usos (transitoria 27).

El organismo en tomar la competencia de sistema de riego y hacer cumplir estos mandatos es el GAD (Gobierno Descentralizado del Carchi) el cual interviene con estudios preliminares en el sistema de riego Artezón por medio de la compañía consultora Agroprecisión.

2.1.2. Gestión del recurso hídrico

Como menciona Cap-net (2005), se basa en que los múltiples usos del recurso hídrico, son interdependientes. Esto es evidente para todos nosotros. La alta demanda de agua para irrigación y flujos de drenaje contaminados por el uso agrícola, significan menos agua fresca para beber o para uso industrial; las aguas de desecho, municipales o industriales, contaminan los ríos y amenazan los ecosistemas; si el agua debe ser mantenida en un río para proteger recursos pesqueros y ecosistemas, se puede desviar menos para la siembra de cultivos. Existen muchos ejemplos más que ilustran el hecho básico de que el uso sin regulación del escaso recursos hídrico es un desperdicio y es inherentemente insostenible.

2.1.3. Recursos hídricos en la provincia del Carchi

Según Yandun (2009), en la provincia del Carchi se encuentra rodeada por ríos que nacen o se juntan por su punto limítrofe de la provincia. Los ríos más importantes son: Carchi, San Juan, Chota. Este último que posteriormente se denomina Mira, corre por el norte con el río Mayasquer que en sus orígenes toma los nombres de río San Juan y Canaicán y su nacimiento está en el volcán Chiles. Aquí nace también el río Játiva que se une al río Carchi que confluye en el Pun que se prolonga por la cordillera Oriental de los Andes hasta el nacimiento en la quebrada Espejo, en el sur, donde se forma el río Chota.

2.1.4. Riego en la provincia del Carchi

La provincia del Carchi posee una característica especial en lo que se refiere al agua. Casi la totalidad de ésta proviene de los páramos; sobre todo, de la zona comprendida por la reserva ecológica El Ángel. Por ejemplo solamente hacia el Sur de los páramos del Ángel salen 35 sistemas de riego, con 59 ramales de distribución y aproximadamente 288 km de canales, que atraviesan una zona templada llegando finalmente a la zona baja de riego en el valle del Chota (Camaren, 2013).

2.2. Levantamiento de los sistemas de distribución de agua existentes

2.2.1. Sistemas de riego

Según menciona Ecuared (2015), que es un conjunto de estructuras, que permite establecer qué área pueda ser cultivada aplicándole el agua necesaria a las plantas. Lo conforman varios elementos. El conjunto de elementos dependerá de si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo. Por ejemplo, un embalse no será necesario si existe otra fuente de agua cercana tales como río o arroyo de los cuales se capta el agua y estos tienen un caudal suficiente incluso en el período de sequía.

Ambientum (2015), manifiesta que los sistemas de riego ofrecen una serie de ventajas que posibilitan racionalizar el agua disponible. Cualquier sistema de riego debe someterse a un estudio previo para determinar si es el más idóneo, tomando en consideración desde el tipo de vegetación, hasta la forma de distribuir el agua para obtener el mejor rendimiento. Los instrumentos de riego: programadores, válvulas, tubos, mangueras, etc., deben distribuirse en función de la topografía, las capacidades hídricas del suelo, y los cultivos establecidos.

Según INDAP (2011) el sistema de riego se entiende como un conjunto de estructuras y capacidades organizacionales que interactúan entre sí para captar, regular, conducir y distribuir el agua entre los usuarios de una determinada área de riego, buscando satisfacer las necesidades hídricas de las especies vegetales que componen el lugar.

El mismo autor acota que puede variar en tamaño, componentes y propósito, desde sistema donde se manejan pequeños caudales para áreas y distancias limitadas, hasta redes de canales y ramificaciones que cubren grandes áreas. Tomará más énfasis el sistema de riego extrapredial o de captación, conducción, distribución y regulación del agua como se observa en la Figura 1.

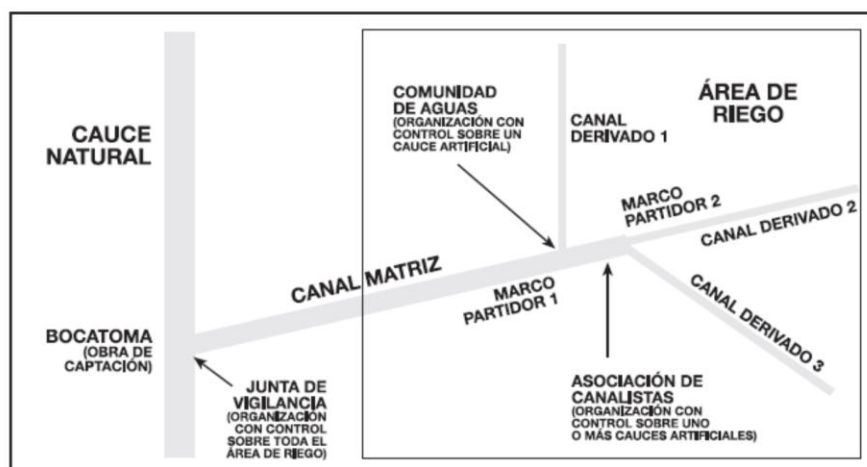


Figura 1.Esquema de un tipo de sistema de riego tradicional

Fuente: (INDAP, 2011)

Los componentes del sistema de riego que se detalla en la Figura 1 se describen a continuación:

2.2.1.1. Fuente de agua o bocatoma

Haro (2012), menciona que las obras de fuente de agua o bocatoma son las estructuras hidráulicas construidas sobre un río, un canal o un lago con el objeto de captar un determinado caudal para el uso requerido. Las bocatoma suelen caracterizarse por el Caudal de Captación, el que se define como el gasto máximo que una obra de toma puede admitir. Es necesario tener presente que la bocatoma es una estructura muy importante para el éxito o fracaso de un proyecto.

2.2.1.2. Sistemas de Conducción

Según Gurovich (1985), el agua de riego es conducida en circuitos abiertos o cerrados, el tipo más común de canal de conducción es aquel excavado en tierra a lo largo de la distancia que debe ser conducida el agua.

2.2.1.2.1. Estructuras de conducción

El mismo autor acota que las estructuras modifican la dirección del agua según sea su propósito en el predio de las cuales se mencionara a continuación:

- Las canoas se utilizan para conducir el agua en zonas con mucha pendiente natural, estas estructuras están hechas de madera o metal
- Túneles que permiten disminuir el largo de un canal de conducción, ya sea que este pase por cerros o colinas
- Caídas o saltos de agua cuando la pendiente del terreno es excesiva, se construyen barreras de concreto o madera con el fin de disminuir el flujo del agua
- Sifones Invertidos la utilidad es atravesar caminos canales que fluyen perpendicularmente al canal considerando otras barreras de difícil modificación

2.2.1.3. Métodos de riego

En la actualidad dada la capacidad ofrecida por los modelos computarizados para simular el funcionamiento de los sistemas de riego, los indicadores pueden ser utilizados en los proyectos para establecer criterios que sistemas deben ser capaces de responder a las diferentes situaciones.

2.2.1.3.1. Riego por superficie

Según Agropecuarios.net (2014), dicen que es sistema de riego consiste en la distribución del agua sobre toda la superficie de un terreno encerrado por pequeños diques se llena compartimiento o surco o melga con cantidad relativamente grande de agua la cual penetra verticalmente en el suelo este tipo de distribución del agua incluye dos operaciones básicas.

- Distribución del agua en el terreno por medio de canales abiertos o tuberías.
- Distribución del agua en el campo sea por inundación total o parcial mediante surcos.

2.2.1.3.2. Riego por aspersión

El riego por aspersión consiste en la distribución del agua a los cultivos en forma de lluvia, mediante la presión hidráulica de una bomba, una o más líneas de tuberías y un conjunto de boquillas y aspersores que la rocían. A diferencia de los sistemas de riego por inundación y por surcos, el riego por aspersión no requiere la nivelación cuidadosa del terreno, pues el suministro de agua no depende de la gravedad (Lesur, 2006).

2.2.1.3.3. Riego por goteo

Menciona Cadena Navarro (2012), que es el riego de poco caudal que tiene por objetivo dar gota a gota la cantidad de agua exacta que ha perdido la planta el autor sostiene también que es un sistema de humedecimiento limitado del suelo, en el cual se aplica el agua únicamente a una parte del volumen del suelo ocupado por el cultivo, todo engloba a que dependiendo del suelo y del gotero utilizado variara la forma del sistema radicular.

2.2.2. Características de las redes de riego

Sánchez (2003), lo conforman los elementos interconectados, cuya función es conducir el agua de riego desde las bocatomas o fuente hasta las zonas de consumo, los más utilizados en las redes de riego tuberías, válvulas, accesorios, elementos de unión, hidrantes que se debe considerar para poder dotar de los caudales demandados.

Entre los elementos que conforman una red de riego cabe mencionar los siguientes:

- Tubería es el material más común el PVC y el fibrocemento
- Válvulas las más comunes son la de regulación, de control, de protección y operación
- Ventosas empleadas para la eliminación de aire en los sistemas de conducción de circuito cerrado
- Accesorios constan los codos, reducciones, ampliaciones, juntas etc.
- Tomas de caudal lo conforman los hidrantes que suelen llevar además un reductor de presión y un limitador de caudal.

2.2.3. Metodología en levantamiento de información de los sistemas de agua

Como hace mención Martínez J (2012), de la metodología empleada para el levantamiento de la información es de manera participativa involucrando a los actores claves como son: Junta de agua y regantes con el apoyo técnico y liderazgo de las entidades influyentes en la zona que para el caso sería los GAD, la difusión del levantamiento por medio de herramientas como fichas, talleres de socialización.

2.2.3.1. Recopilación de información

El mismo autor manifiesta que se debe priorizar la recopilación y sistematización de la información secundaria de los sistemas a inventariar (estudios, fotografías, planos etc.), con el fin de establecer los vacíos existentes para el estudio y dejar en constancia una línea base de recursos hídricos previa al trabajo de campo.

2.2.3.2. Levantamiento de información

Cabe destacar que el autor sostiene que la información debe ser subida a una base de datos y documentada en avances en cada uno de los sistemas y devolverla a cada usuario para rectificarla, de esta manera que la base de datos se retroalimenta obteniendo resultado de una información pulida y confiable.

2.2.3.3. Cartografía

Según Lagarda (2006 - 2009), es la ciencia que trata de la representación del planeta Tierra sobre un plano al cual se le llama mapa. Al tener la Tierra una forma esférica ha de valerse de un sistema de proyecciones para poder pasar de la esfera a un plano.

Elementos cartográficos son paralelos, meridianos, valores de latitud y longitud, escala símbolo convencionales, orientación, diagrama de altitudes.

2.2.4. Como hacer el inventario de la redes de riego

Según Camaren (2005) , es a partir de un muestreo representativo de unidades de producción de la zona y parcelas del área investigada, se buscará estudiar la valorización del agua de riego en la producción, las técnicas de riego y el aspecto particular del drenaje, antes de llegar a medir la eficiencia técnica del riego. Los datos siguientes se obtendrán por medio de un trabajo de campo, incluyendo tanto una lectura de paisaje como entrevistas con los campesinos y mediciones en las parcelas.

(Martínez J 2012), manifiesta que es el proceso de Investigación que permite a la zona de estudio a conocer mediante un inventario o un registro actualizado de fuentes y reservas hídricas de asignaciones y usos del agua, la oferta y demanda, la calidad del agua los conflictos sociales entorno al riego.

2.2.5. Revisión y evaluación de la información

Lo antes mencionado por el mismo autor detalla sobre la base de la información levantada en la fase de pre campo, campo, se sugiere analizar esta información y ver que otra es indispensable para llevar a cabo el proyecto del sistema de riego, también se contempla la medida que pueda ser recolectada, cual es la utilidad para la evaluación técnica y social de los sistemas de riego, pudiendo ser estas: estudios, fotografías aéreas, cartografía, planos de proyectos, planos catastrales.

2.2.6. Análisis de la distribución de agua en la red

Como menciona Camaren (2005), este análisis es de conocer la distribución del agua a la parcelas en las áreas regadas es de caracterizar esta distribución en términos técnicos y descripción de los ramales de distribución. Depende del nivel de detalle que se desea alcanzar, se recomienda hacer un mapa parcelario que representara zonas hidráulicas o bloques hidráulicos y de la infraestructura de la cual recibe el agua.

2.2.6.1. Bloque hidráulico

Un bloque hidráulico llamado por otros autores “sectores”, “unidades de riego”, “módulos”, “barrios hidráulicos”

Apollin & Eberhart (1998), afirma que corresponde a una unidad espacial de reparto entre diferentes usuarios, alimentado por un canal secundario o terciario. Al interior de un mismo sistema de riego, las reglas de reparto entre usuarios pueden ser diferentes de un bloque hidráulico a otro. El bloque puede corresponder, por ejemplo, a la unidad espacial que recibe el caudal durante un tiempo definido, o que utiliza una parte del caudal de manera permanente.

2.2.7. Red de riego

Se entiende por red de distribución interna del agua de riego al conjunto de obras y estructuras tales como el canal o acequia principal, las acequias secundarias y terciarias, los saltos, puentes, sifones y compuertas, entre otros, que permiten la distribución adecuada del agua de riego dentro de la propiedad (Requena 2012).

2.2.7.1. Variables que intervienen red de riego

Según Lapo (2012) para alcanzar un reparto uniforme y eficiente del agua, necesitamos de la siguiente información como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables a considerar para el diseño de redes de riego

Variable	Características
Suelo	Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento, profundidad y velocidad de infiltración estabilizada.
Clima	Temperatura, humedad relativa, precipitación, evaporación diaria, radiación solar y el viento.
Cultivo	Necesidades hídricas, fracción de agotamiento del agua disponible, profundidad radical, tipo de cobertura, labores.
Parcela	Dimensiones, topografía, lugar de captación de agua, área a regar, linderos.
Agua	Caudal Disponible y calidad agronómica
Riego	Tiempo disponible para regar en el día, método de riego, características del emisor así como su esparcimiento, eficiencia de riego.

Fuente: (Lapo, 2012)

2.2.8. Individualización predial

Un sistema de base de datos integrado, que contiene información de registro de tierra y sus propietarios, características físicas, valorización de los terrenos, zonificación, sistemas de información geográfica, transporte y datos ambientales, socioeconómicos y demográficos. El catastro representa una herramienta de planeación holística, que puede ser usada a nivel nacional, regional y local, para políticas de desarrollo económico, crecimiento urbano, erradicación de la pobreza, políticas de suelo y desarrollo sustentable (Lagarda, 2006 - 2009).

La Individualización predial menciona Fierro (2008), que es el censo descriptivo o estadística gráfica de las fincas rústicas y urbanas. Tiene por objeto, delimitar las propiedades de una determinada área, y determinar diferentes comportamientos sociales espaciales para ubicar las características individuales de cada predio, las mismas que son necesarias para conocer su valor y posterior cobranza de impuesto.

Se entiende como tal a la fotoidentificación y delimitación gráfica de los linderos de cada predio en las correspondientes ortofotos u ortoimágenes. Para lo cual, será necesario que el personal encargado recorra cada uno de los límites prediales, conjuntamente con los propietarios o posesionarios y, donde sea posible, con la presencia de los testigos colindantes, para asegurar resultados más confiables, MAGAP (2008).

2.2.8.1. Superficie de riego

Según menciona FAO (2000), el tamaño del predio influye en el nivel de producción entre otra como la rentabilidad, es por eso tienen gran influencia sobre el nivel de tecnología más apropiado para el riego. Algunas tecnologías, como sistemas de riego, requieren grandes inversiones iniciales de materiales y entonces no son factibles para productores con bajos niveles de ingresos. Además, la escala de producción es un factor limitante para poder introducir ciertos sistemas de manejo de altos costos de instalación.

2.2.8.2. Identificación de los productores

Satisface la necesidad de clasificar o de identificar los estratos, en resumen el objetivo es el de agrupar el conjunto reducido y significativo de categorías o tipos a individuos, grupos, la relación del tamaño de la parcela que conlleva a dar la expectativa del tipo de productor entre los cuales tenemos: pequeño, mediano, empresarial (Agroprecisión 2013).

2.3. Requerimiento hídrico de los cultivos

2.3.1. Caracterización de los recursos naturales

Es conocer el inventario de las características naturales de la zona que intervienen en el desarrollo de los cultivos y su productividad como son: agua, clima y suelo.

2.3.1.1. Agua

Mediante la FAO (2011) hace mención que es recolectar datos sobre la distancia que separa la explotación de la fuente de agua y el tiempo que se requiere para llegar a ella, precisando la persona encargada de la actividad. Además de la distancia lineal, entra en juego la orografía, las técnicas de extracción (bomba mecánica u otro instrumento) y si es necesario esperar turno para obtenerla, etc.

2.3.1.2. Clima

La influencia del clima es importante no solo en la demanda del transporte del agua sino también en el manejo de la necesidad de agua en las plantas por medio de la lluvia, la humedad y el calor (Santos,2010).

2.3.1.3. Suelo

Como se menciona Cadena Navarro (2012), la fase líquida del suelo está constituida por el agua y las soluciones del suelo. El agua procede de la atmósfera en forma de lluvia, nieve, granizo, humedad atmosférica, pudiendo tener otras fuentes como las infiltraciones y las capas freáticas; mientras que las soluciones del suelo proceden de la alteración de los minerales y de la materia orgánica. El agua ejerce importantes acciones tanto en la formación de los suelos como en la fertilidad del mismo a tal punto que se dice que donde no hay agua, no hay suelo.

2.2.1.3.1. Textura

Menciona Losada (2005) a las partículas minerales de la fracción sólida, clasificada por su tamaño se define la llamada tierra fina integrada por arena (2 a 0,05 mm), limo (50 a 2 μm) y arcilla (< 2 μm), la clasificación se la facilita mediante el triángulo de texturas.

2.3.1.4. Densidad aparente (Da)

Este parámetro se lo opto mediante el método del cilindro es generalizado siempre y cuando de donde se va a tomar la muestra no sea muy pedregoso, la densidad aparente del suelo es la masa por unidad de volumen de suelo seco, la densidad aparente incluye el volumen de las partículas del suelo y el volumen del espacio poroso según (Luzuriaga,2005).

En suelos arenosos la densidad aparente (Da) puede ser tan alta como $1,6 \text{ g.cc}^{-1}$, en suelos francos alrededor de $1,2 \text{ g.cc}^{-1}$, y en suelos arcillosos cerca de 1 g.cc^{-1} . En suelos de origen volcánico y en suelos orgánicos los valores pueden ser de 0,8 y $0,3 \text{ g.cc}^{-1}$, respectivamente como lo menciona (Calvache, 2012).

2.3.1.5. Capacidad de Campo (CC)

Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión de $1/3$ de atm aproximadamente y es la medida de mayor cantidad de agua que un suelo retendrá o almacenará bajo condiciones de completa humedad, después de haber drenado libremente. Aunque depende del tipo de suelo, después de la saturación, el drenado libre dura aproximadamente entre uno o tres días (Cisneros, 2003).

Se refiere al contenido de humedad presente en el suelo en contra de las fuerzas de gravedad, dos o cuatro días después de una lluvia fuerte o un riego abundante y que ha drenado el agua gravitacional ; depende de la textura, contenido de materia orgánica y compactación del suelo (Valverde,1998).

2.3.1.6. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente .También el P.M.P. depende de la especie vegetal , de la cantidad utilizada por los cultivos , profundidad de raíces , de la capacidad de retención del suelo, etc. En términos de tipo de agua el P.M.P. representa al agua no disponible, es decir agua que se encuentra fuertemente retenida por diferentes fuerzas y que a las plantas se les dificulta su aprovechamiento (Cisneros,2003).

Es el contenido de humedad retenido por las partículas de suelo que las plantas no pueden utilizar para satisfacer sus necesidades y recuperar la turgencia, lo que provoca una marchitez irreversible, pues no puede recuperarse aunque se someta a un ambiente húmedo (Valverde, 1998).

2.3.1.7. Humedad Disponible o Agua Aprovechable

Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo (retenida a una fuerza de $1/3$ de atm) y el punto de marchitamiento permanente (humedad retenida a una fuerza de 15 atm aproximadamente) (Cisneros, 2003).

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, determina por la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, es conocido como agua disponible. Se expresa en porcentaje de peso de suelo seco. Se considera que a capacidad de campo el agua es 100% disponible y a punto de marchitez es de 0%. El valor puede oscilar entre 3 a 5 % para suelos arenosos hasta 15% más para suelos arcillosos (Valverde, 1998).

2.3.1.8. Velocidad de infiltración

Cadena Navarro (2012), expresa que es el movimiento de agua desde la superficie del suelo hacia abajo después de una lluvia o un riego, la velocidad de infiltración depende también de las condiciones de humedad que presente el suelo como se presenta a continuación depende de la textura del suelo como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Velocidad de infiltración para diversos tipos de suelo

Tipo de Suelo	Velocidad (mm/hora)
Arenoso	>30
Areno francos	15-30
Franco arenoso	12-18
Franco	8 - 14
Franco limoso	6 -10
Areno limoso	20 - 30
Limoso	10 - 20
Arcillo limoso	5 - 8
Arcilloso	3 - 6

Fuente:(Cadena Navarro, 2012)

2.3.2. Requerimiento máximo de los cultivos

Cadena Navarro (2012), mantiene que en la mayoría de los casos, parte de las necesidades hídricas del cultivo son suministradas por la lluvia y el resto mediante el riego, sin embargo, no toda el agua de la lluvia es utilizada por las plantas ya que una parte de ella se infiltran en el suelo, otra se queda en la superficie y otra fluye sobre la superficie en forma de escorrentía.

2.3.2.1. Conceptos en la aplicación de Cropwat

La identificación de conceptos básicos en el requerimiento hídrico de los cultivos es de importancia al entender los procesos en la aplicación de las fórmulas del programa Cropwat, los conceptos en ampliarse son la evapotranspiración, evapotranspiración del cultivo de referencia, evapotranspiración de cultivo, coeficiente de cultivo, fracción de agotamiento crítico, y factor de respuesta de rendimiento.

Evapotranspiración

Según Contreras (2014), es la combinación de procesos separados por los que se pierde agua a través de la superficie del suelo por evaporación y mediante la transpiración de cultivo.

Evapotranspiración de cultivo de referencia

Es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmosfera, esta superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto con características específicas (FAO, 2006).

Evapotranspiración de cultivo

Es la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en las parcelas con un buen manejo agronómico y un adecuado aporte de agua alcanzando la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas (FAO, 2006).

Coeficiente de cultivo

Según FAO (2006), es la incorporación de las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo, debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, K_c cambia desde la siembra hasta la cosecha.

Fracción de agotamiento crítico

Según manual de la FAO (2007), es el nivel crítico de humedad en el suelo a partir del cual ocurre estrés por falta de agua.

Factor de respuesta de rendimiento

Este factor es demostrado por la FAO (2006), consiste en la compleja relación que existe entre la producción y el uso del agua en un cultivo, los valores de K_y son específicos para cada cultivo y varían durante el período de crecimiento, según las etapas de crecimiento.

2.3.2.2. Tipo de métodos para el cálculo (ETo)

El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de la evaporación de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo (FAO,2006).

Existen varios métodos para el cálculo de ETo entre los que se mencionan:

- Blaney-Criddle,
- Thornthwaite
- Tanque evaporímetro
- Penman-Montieth modificado

El método más acorde para la aplicación en la zona de estudio es el de Penman- Montieth modificado, ya que agrupa las características de los recursos naturales (Clima, Suelo, Cultivo y Fechas de siembra, cosecha), el cual relaciona todos los elementos mencionados para crear escenarios de riego.

2.3.2.3. Evapotranspiración potencial (ETo)

Santos (2010), afirma que la evapotranspiración de los cultivos(ETc) pueden estimarse, en base a registros climáticos periódicos, mediante modelos específicos que existen, generalmente recurriendo al de Penman- Monteith(que se describirá más adelante), que utiliza parámetros propios de la cubierta vegetal, o la demanda evaporativa impuesta por las condiciones climáticas (es decir la evapotranspiración de referencia, ETo) y, en segundo lugar, considerar las especificidades de los cultivos mediante el coeficiente de cultivo.

2.3.2.4. Coeficiente de Cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc) integra el efecto de las características que distinguen a un determinado cultivo de aquellas del cultivo de referencia. De acuerdo con el enfoque de coeficiente de cultivo, la Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar (ETc) se calcula multiplicando la Evapotranspiración de referencia (ETo) por el Kc adecuado para ese cultivo. Kc está influenciado principalmente por el tipo de cultivo y en menor proporción por el clima y la evaporación del suelo. Por otra parte, el Kc para un determinado cultivo varía de acuerdo a las etapas de cultivo, dado que la cubierta del suelo, la altura del cultivo y el área foliar cambia a medida que el cultivo se desarrollado por (FAO,2007).

2.3.2.5. La evapotranspiración de cultivo (ETc)

Según la FAO (2006), para predecir el efecto de las características de los cultivos sobre sus necesidades de agua, se pueden aplicar los coeficientes de cultivos Kc para obtener la evapotranspiración del cultivo (ETc), mediante la siguiente fórmula:

$$ETc = Kc \times ETo$$

Dónde:

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm.día-1)

ETo: Evapotranspiración Potencial (mm.día-1)

Kc: Coeficiente del cultivo

2.3.2.6. Coeficiente de eficiencia (Ky)

El mismo autor menciona que se refiere a la reducción de rendimiento relativo al déficit de evapotranspiración relativa, en otras palabras, para todo el periodo del cultivo, la disminución del rendimiento es proporcionalmente menor con el aumento del déficit de agua.

2.3.2.7. Lámina almacenable o Lámina neta (Ln)

Es la cantidad de agua almacenada entre la capacidad de campo y el punto de marchitez que podemos dejarle consumir al cultivo entre dos riegos consecutivos, según Cadena Navarro (2012) la fórmula es la siguiente:

$$Ln = (CC - PMP) / 100 * da * Pr$$

Donde

Ln: Lámina neta

CC: Capacidad de Campo

PMP: Punto de Marchitez Permanente

da: Densidad Aparente

Pr: Profundidad Radicular

2.3.3. Software para programar el riego (Cropwat)

(FAO, 2006), menciona que es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos en base a datos climáticos y de cultivo introducidos por el usuario ya sean existentes o nuevos. Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos.

2.3.3.1. Beneficios de la utilización del software Cropwat

Según Contreras (2014) el programa de libre acceso incluye una serie de bondades que son:

- Entrada de datos climáticos en versión mensual, decadiaria y diaria para el cálculo de ETo(Evapotranspiración del cultivo de referencia)
- Posibilidad de estimar los datos climáticos en caso de no contar con los valores medidos
- Cálculos diarios y decadiarios de los requerimientos del agua, incluyendo el ajuste de los valores de coeficiente de cultivos
- Cálculo de la necesidad de agua de cultivos y programación de riego según el método
- Tablas de balance diarios de agua en el suelo.
- Sencilla importación y exportación de datos y presentaciones gráficas de requerimientos de agua de los cultivos y programaciones de riego

2.3.4. Designación de las zonas de riego

Según Huanca (2014), menciona que es de categorizar a las tierras de acuerdo con su valor o capacidad productiva, relacionándolo con el inventario de los recursos naturales, en otras palabras se separan las tierras regables de las que no son comparando los factores físicos que inciden en la producción.

2.3.4.1. Especificaciones para clasificación de tierras con fines de riego

Las clases se identifican mediante números romanos en un total de seis, de las cuales las cuatro clases son de estudio con fines de riego, han sido determinadas por su adaptabilidad en el grado del parámetro pendiente a la agricultura, se distinguen con las siguientes características generales según menciona por el Boletín de suelos (FAO, 1990).

2.3.4.1.1. Clase I

Regable. Comprende las tierras que son muy apropiadas para el riego y capaces de producir altos rendimientos en un amplio margen de cultivos y a costos económicos. Son planas con pendientes suaves, profundas, textura media, estructura que permite una fácil penetración de las raíces, friables, con drenaje normal y una suficiente capacidad de retención de agua. Por buenas condiciones de suelos y topografía, estas tierras no requieren obras especiales de drenaje, no están expuestas a la erosión y su explotación es relativamente fácil (FAO,1990).

2.3.4.1.2. Clase II

Regable .Incluyen aquellas tierras que son moderadamente apropiadas para el riego, debido a sus condiciones algo inferiores a la clase I ; su adaptación a todo tipo de cultivo es, a veces limitado y los costos para la introducir el riego o para su explotación , son un poco más elevados. Estas tierras no son tan aptas como la clase I debido a que presentan ciertas deficiencias .Por ejemplo pueden poseer una capacidad de retención de agua más baja; ser moderadamente permeable debido a la textura pesada o presencia de algún material impermeable .Topográficamente pueden requerir trabajos de nivelación a costos moderados y sistemas escogidos de riego debido a pendientes algo pronunciadas u obras especiales de drenaje cuando por su posición se dificulta el desagüe natural (FAO,1990).

2.3.4.1.3. Clase III

Regables. En este grupo se encuentran las tierras que poseen condiciones para el riego , pero que su aptitud está claramente restringida por una o más deficiencias graves de suelo topografía o drenaje una tierra de esta clase puede tener buenas condiciones de topografía y de drenaje, pero presenta suelos de mala calidad que restringen realmente sus uso para cultivos o requieren grandes cantidades de agua o prácticas especiales de riego para su explotación o necesitan trabajos intensos para mejorar su baja fertilidad . La corrección de cualquier deficiencia, ya sea topográfica o de drenaje es a costos elevados. Estas tierras son más difíciles de trabajar que las anteriores deben estimarse regables después de muchas consideraciones que determinan su conveniencia económica (FAO,1990).

2.3.4.1.4. Clase IV

No regables. Incluye aquellas tierras de aprovechamiento limitado debido a que presentan una o varias deficiencias excesivas en los factores suelos, topografía, drenaje, pero que poseen alguna utilidad específica que en ciertas circunstancias pudieran garantizar su desarrollo. Es tal la magnitud de la deficiencia que por lo general estas tierras no pagan los gastos ocasionados por el riego. Sólo en determinados casos pueden ser regadas por desagües (FAO, 1990).

2.3.4.1.5. Clase V

No regable. Es una agrupación transitoria. Comprende aquellas tierras que deben eliminarse transitoriamente o de manera temporal del proyecto de riego, debido a sus condiciones indeseables de drenaje o posición. La capacidad definitiva de estas tierras debe ser estudiada posteriormente. En caso que sean determinadas sus aptitudes para el riego, continuara como clase 5 hasta que su mejoramiento sea completado. Si se determina que éste es antieconómico pasarán a la clase 6. Solamente deben ser individualizadas cuando las condiciones existentes en el área requieran consideración especial que justifique estudios especiales económicos y de ingeniería (FAO,1990).

2.3.4.1.6. Clase VI

No regable. Las tierras incorporadas a esta clase se consideran eliminadas definitivamente del proyecto de riego, debido a que no prestan los requerimientos mínimos exigidos para las clases anteriores también se incluyen pequeñas áreas regables aisladas y en general aquellas tierras de topografía muy quebrada con pendientes muy pronunciadas, excesivamente erosionadas; con texturas muy ligeras y gruesas o muy pesadas; con suelos muy delgados sobre grava, roca o materiales similares; con drenaje inadecuado (FAO, 1990).

2.4. Tecnificación del riego

Según BURGCOM (2014), define que es la aplicación del agua al cultivo en forma de "gotas" y localizada con alta frecuencia, en cantidades estrictamente necesarias y en el momento oportuno u óptimo. Esta aplicación, se hace mediante una red de tuberías (de conducción y distribución de PVC), y de laterales de riego (mangueras o cintas), con emisores o goteros, que entregan pequeños volúmenes de agua periódicamente, en función de los requerimientos hídricos del cultivo y de la capacidad de retención del suelo.

2.4.1. Aplicación sustentable del riego

La dirección de recursos hídricos y gestión ambiental Tungurahua (2015), manifiesta que en la zona de la sierra andina por sus características topográficas es una zona en la que los sistemas de riego tecnificados pueden ser exitosos con la consiguiente mejora de los cultivos. Muchos sistemas disponen de suficiente energía por gravedad para redes de agua presurizada. La mayor parte de los diseños incluyen medidas de control de presión para evitar rotura por presiones excesivas. A tener energía gratuita se reducen los costos de operación. Los pequeños agricultores, incluso aquellos de ingresos limitados, muestran un creciente interés para invertir en equipos parcelarios (sistemas de aspersión móvil, instalaciones de riego por goteo).

2.4.2. Criterios de selección del método de riego

Según Maldonado (2008), para la selección del método de riego más apropiado es con el propósito de conseguir que la producción de los cultivos alcancen los máximos beneficios, sin causar daños al medio ambiente (erosión, salinización, contaminación de aguas superficiales y sub-superficiales).

Básicamente los criterios de selección son: tipo de cultivo, topografía, tipo de suelo y disponibilidad de agua.

2.4.2.1. Tipo de cultivo

El mismo autor menciona que existen cultivos que pueden regarse por un solo método de riego y otros por varios métodos, el tipo de cultivo es el primer criterio que determina el método de riego. Por ejemplo, el cultivo de la papa es conveniente regar por surcos. Cultivos densos como pastos y cereales pueden regarse por aspersión o inundación. Frutales y hortalizas cultivadas en hileras pueden ser regadas por goteo y micro aspersión.

2.4.2.1.1. Cédula de cultivos

Según Quispe (2011) define a la cédula de cultivos como la programación de los cultivos a implementar en una superficie dada en función a las condiciones climáticas, periodo de desarrollo de los cultivos y la disponibilidad de agua. Con un módulo de riego que debe aplicarse a un cultivo durante su periodo vegetativo y con una demanda de agua de uso agrícola.

3.2.1.1. Requerimiento agroecológico de los cultivos

Las características establecidas para los requerimientos agroecológicos óptimos se detallaron de la guía de cultivos del INIAP 2010 conjuntamente con el calendario de siembras y cosechas del MAGAP 1998, los cultivos en estudio se escogieron por ser los tradicionales en la dieta alimenticia de la zona y de cultivos de exportación.

En el Cuadro 3 se detalla las condiciones climáticas necesarias para un buen rendimiento de los cultivos en asociación relacionados con las características principales del suelo.

Cuadro 3. Requerimientos edafoclimáticos para los cultivos en el sistema de riego Artezón.

Cultivo	Textura	pH	Profundidad (cm)	Contenido M.O.	Altitud msnm	Precipitación mm	Temperatura °C
Cebada	Franca y Franca arenosa	6.5 a 7.5	> 20	Alto	2000 a 3400	500 a 1 000	13 a 18
Haba	Franco, Franco arcillosa	5.5 a 6.8	51 a 100	Alto	2500 a 3500	700 a 1000	7 a 14
Papa	Franco y Franco arcilloso	5.0 a 6.5	> 100	Alto	2600 a 3400	800 a 1 300	10 a 14
Quinua	Franco arenosa	6.3 a 7.3	51 a 100	Alto	2000 a 3400	500 a 800	7 a 17
Pasto azul	Franco, Franco arcilloso	5,5 a 6,5	>20	Alto	2600 a 3200	700 a 1 500	6 a 18
Maíz suave	Franco, Franco arcilloso, Franco arenoso	5,5 a 7,5	>20	Alto	2200 a 3000	600 a 1400	10 a 20
Amaranto	Franco, Franco arenosa, Franco arcilloso	4,5 a 8,5	>30	Media	2200 a 3200	400 a 2000	8

Fuente: Guía de cultivos del INIAP 2010

2.4.2.2. Topografía

Maldonado (2008) resalta las restricciones impuestas por la topografía en relación al riego, tiene una proporción directa con las pendientes estas comprenden: ubicación de la fuente de agua, pendiente de la parcela, relieve y micro-relieve del terreno. En general, el riego por superficie puede adaptarse a terrenos con relieve que va de plano a ondulado, así una topografía plana es ideal para el riego por surcos y melgas rectas; contrariamente una topografía irregular con fuerte pendiente, la alternativa sería el riego en aspersión.

2.4.2.3. Tipo de suelo

El mismo autor acota que se debe considerar las características internas del perfil del suelo: textura, estructura, infiltración, nivel freático, entre otros. En general, suelos poco profundos y con alta velocidad de infiltración, no se adaptan bien al riego por superficie; bajo tales condiciones será preferible regar por aspersión y en casos especiales por micro aspersión, ya que este tipo de suelos por su baja capacidad de retención de humedad requieren aplicaciones de agua frecuentes y pequeñas.

2.4.2.4. Disponibilidad de agua

Según Cadena Navarro (2012) es la cantidad de agua disponible, en términos de caudal, tiempo e intervalo de entregas, pueden ser un factor determinante en el método de riego a utilizar. La disponibilidad de un caudal elevado, en tiempo reducido y con grandes intervalos de entrega permite el empleo del riego por inundación. Cuando el caudal disponible es escaso, por periodos largos de tiempo y entregas frecuentes, es posible regar eficientemente por surcos.

2.4.3. Sistema de gestión de base de datos y SIG

2.4.3.1. Un sistema de gestión de bases de datos

Sarría (2014), se trata de colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a los mismos, la importancia para la gestión de datos temáticos como apoyo al SIG. En principio se utilizaron para almacenar los atributos temáticos asociados a un conjunto de entidades espaciales almacenadas en formato vectorial, hoy en día se están empezando a utilizar además para el almacenamiento de la información geométrica (conjunto de coordenadas) de las entidades espaciales.

2.4.3.2. SIG definición

Los SIG constituyen una rama de la ciencia o disciplina que ha evolucionado y sigue evolucionando con tal rapidez, que la definición de lo que es o de lo que hace cambia y se amplía sin cesar, hasta el punto que lo único cierto es que cualquier definición que demos de ella ahora ya no será válida dentro de 5 ó 10 años. Esta rápida evolución, que se describirá con mayor detalle en la Sección 6.3, ha motivado una gran controversia no sólo acerca de su definición, sino también sobre el lugar que los SIG ocupan en una jerarquía de campos análogos y los criterios en los que se ha de basar su tipología (FAO 1992).

Sistema Informático, capaz de almacenar y utilizar datos referentes a lugares o elementos de la Tierra, y está formado por un conjunto de equipos informáticos, de programas, de datos geográficos y técnicos organizados, con el fin de compilar, almacenar, manipular, analizar y presentar, mediante mapas, y otras formas de expresión, todos los elementos reales y abstractos susceptibles de ser tratados como información geográfica debidamente georeferenciada (Del Bosque 2004).

Es una herramienta que tiene una inmensa virtud para producir mapas y brindar información inmediata, esto es un justificativo importante para el uso de estos sistemas. Pero además, los SIG utilizan y facilitan la integración de fuente complementaria como bases de datos, cartografías, fotos aéreas, planillas con estadística, imágenes satelitales, etc., todas estas fuentes pueden ser utilizadas en simultáneo y combinadas con potentes herramientas de análisis espacial y de gestión de bases de datos geo referenciados facilitando la toma de decisiones (Fernández & Del Río 2011).

2.4.4. Planes de riego

Camaren (2013), menciona que los elementos que deben contener para la planificación de riego

- Rehabilitación y complementación de la infraestructura de riego incluyendo el desarrollo de sistema de riego a presión, si fuere el caso.
- Desarrollo y fortalecimiento de las organizaciones de agricultores que cultivan con riego a nivel local, provincial y nacional, esto incluye desarrollar un amplio proceso de capacitación.
- Desarrollo productivo articulado a los procesos de comercialización y transformación

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

Se encuentra en la provincia del Carchi, cantones Espejo y Bolívar, parroquias El Ángel y García Moreno; de los cuales se investiga la estructura del sistema de riego, componentes de clima, uso de la tierra, suelo, requerimiento hídrico de los cultivos. Se describen temas que ayudan en la investigación como la situación demográfica y la estructura productiva de la provincia con datos estadísticos.

3.1.1. Demografía

La provincia del Carchi está ubicada en el extremo norte del callejón interandino, tiene una extensión de 3.604,33 Km², cuenta con una población total de 164.524 habitantes, según el censo del 2010 INEC, distribuida en los seis cantones de la siguiente forma: Tulcán con el 53% de habitantes, seguido por Montúfar con el 19%, Espejo con el 8%, Bolívar con el 9% cada uno, Mira con el 7% y finalmente San Pedro de Huaca con el 5%.

3.1.2. Estructura producción agraria

En el año 2012, según estadísticas de la ESPAC se han destinado en la provincia del Carchi 85,018 hectáreas para pastos naturales y cultivados, la superficie destinada a cultivos de ciclo corto fue de 7,703 hectáreas en la provincia, distribuidos en al menos 13 cultivos, siendo la papa, el fréjol, tomate riñón, arveja y maíz suave los cultivos de mayor representatividad en la provincia.

Como se aprecia en el Cuadro 4, se destacan los cultivos de papa, haba y cebada en la provincia del Carchi, estos cultivos se encontraron en la zona de estudio, son considerados para el establecimiento de patrón de cultivos en el interés de la investigación.

Cuadro 4. Principales cultivos transitorios por superficie y producción en la provincia del Carchi.

Cultivo	Superficie (Ha)	Producción TM	Superficie de participación %
Papa	5930	83445	30
Fréjol	3272	1647	16
Cebada	2194	2515	12
Maíz suave seco	1281	970	6
Arveja tierna	1271	2493	6
Maíz duro seco	1200	1244	6
Maíz suave choclo	1081	3423	5
Cebolla colorada	790	6150	4
Trigo	553	852	3
Haba tierna	484	3474	2
Otros	1981	10124	10

Fuente: Agenda para la transformación productiva territorial provincia del Carchi 2011

3.1.3. Ubicación

El canal "El Artezón" se encuentra ubicado en la zona noroccidental de la provincia del Carchi, cuyo nacimiento es en la quebrada Piedras y la quebrada Los Violines, sector denominado La Toma, a 3 818 msnm, en la Reserva Ecológica de El Ángel; en las coordenadas UTM: 840721 de longitud E y 10083403 de latitud N. GAD (Dirección de Recursos Hídricos del Carchi, 2009).



Figura 2. Ubicación de la zona de estudio (bloques 1-2) en el sistema de riego Artezón Carchi, 2014.

Cubre una superficie de 3340.55 ha, la cual está dividida en dos bloques, el primer bloque ocupa una superficie de 2202.42 ha y el segundo bloque, 1138.13 ha, ubicada en las parroquias de El Ángel y García Moreno como se aprecia en la Figura 2.

División política territorial

Provincia: Carchi

Cantón: Espejo -Bolívar

Parroquia: El Ángel -García Moreno

Sector: Chavayán -El Ángel - García Moreno

Los límites geográficos del polígono de estudio son :

Norte : Quebrada La Rabija, Quebrada de Plátanos

Sur : Quebrada Chichos

Este : Canal de riego Artezón

Oeste : Río El Ángel

Sistema de Referencia Espacial UTM WGS 84 zona 17 S

Las coordenadas extremas son:

Norte: X: 844549 E ; Y: 10071756 N

Sur :X: 838760 E ; Y: 10062524 N

Este :X: 842691 E ; Y: 10066455 N

Oeste :X: 838941 E ; Y: 10066831 N

3.1.4. Antecedentes en el sistema de riego Artezón

En el área de influencia para el sistema de riego Artezón, se constituyen las siguientes cooperativas agropecuarias: “Carchi”, “1ro de Mayo” (ambas en la parroquia García Moreno); “El Rosario” (en El Ángel), “La Victoria” (en San José de Tinanjillas) y, “24 de Agosto” (en Los Andes). Es en la segunda mitad de la década de los 90 e inicios de la década de los 2000, que empiezan a gestarse iniciativas para la rehabilitación de El Artezón. Estas iniciativas estaban lideradas por el Municipio del cantón Bolívar que contrató al menos dos estudios en esa perspectiva (Agroprecisión 2013).

3.1.5. Recurso Hidrográfico

SENAGUA (2009), define como la unidad territorial natural que capta la precipitación, y es por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal o sea es un área delimitada por una divisoria topográfica denominada parte-agua que drena a un cauce común

La información hidrográfica que establece SENAGUA está estructurada por niveles como se aprecia en la Figura 3 desde nivel 1 que lo conforma Vertiente del Pacífico, hasta llegar a lo más detallado y de menor escala con nivel 5 del Río Carchi.

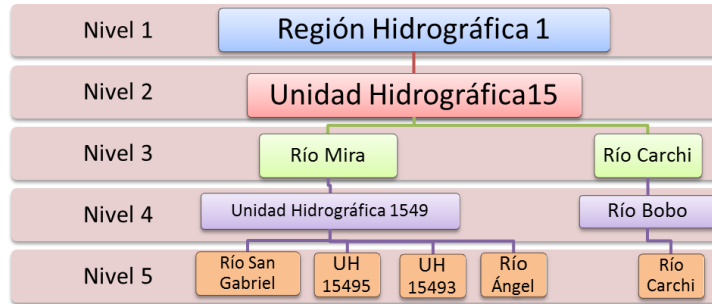


Figura 3. Clasificación de las cuencas hidrográficas según SENAGUA en la zona de estudio

Fuente: Agroprecisión 2013

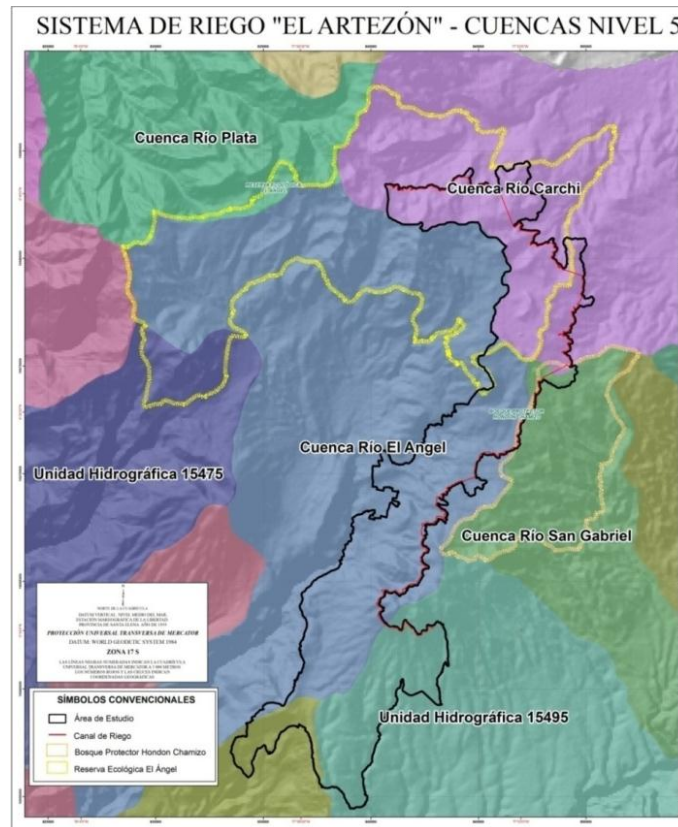


Figura 4. Cuencas hidrográficas para el sistema de riego Artezón 2014

Fuente: SENAGUA, 2009

En las Figuras 3 y 4, se observa que el canal Artezón nace en la quebrada Los Violines, afluente del río Grande, perteneciente a la micro-cuenca del río Carchi y parte de la cuenca del río Mira, que tiene un registro de un caudal adjudicado de 245 l/s.

3.1.6. Características climatológicas

El registro del clima es por parte de la estación meteorológica El Ángel cuyo código de la estación es M102, los datos fueron proporcionados por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) para el periodo 1974 a 2012, los datos a utilizar en la información son: Temperatura máxima, Temperatura mínima, Temperatura media, Precipitación, Humedad Relativa y Viento de los cuales se trataron los datos con las medias y promedios estadísticamente según corresponda cada variable.

3.1.7. Importancia de la estación meteorológica de referencia

Existen en la zona de estudio otras estaciones meteorológicas como: Tufiño, San Gabriel y Mira, la importancia de la estación meteorológica de referencia El Ángel radica por estar en el centro del poblado y cercana a cultivos de este sector, otro de los criterios es la confiabilidad de los datos anualmente que existe los registros de 1974 hasta 2012.

3.2. Condiciones climáticas

Se analizó las características climáticas de la zona de estudio, la importancia y efectos que influyen en la planta.

3.2.2. Temperatura

La variable temperatura afecta en el desarrollo del ciclo de la planta en consecuencia con la productividad, está relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia como lo manifiesta (Rodríguez, Capa , & Lozano 2004).

Como se aprecia en la Figura 5, la temperatura media promedio es de 11.8 °C, mientras que la temperatura más alta registrada es 20.2 °C en el mes de octubre y la temperatura más baja es 4.2 °C en el mes de agosto. Cabe mencionar que los datos son proporcionados por el INAMHI en el periodo 1974 al 2012 y se encuentran en el Anexo 13 - Serie1, se usó estadísticamente la media en la tabulación de datos.

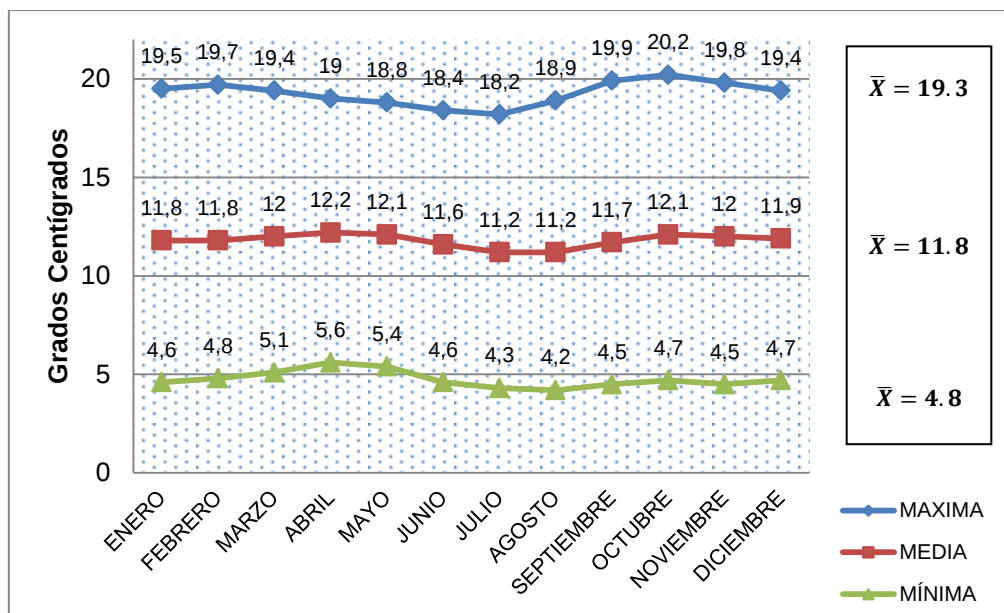


Figura 5. Temperaturas mensuales promedio, registrada por la estación meteorológica El Ángel para el período 1974- 2012, Carchi.

3.2.3. Precipitación

Esta variable climática es el principal ingreso de agua para los cultivos en la zona de estudio, según González (2013) manifiesta la mayor parte de agua se pierde por la evaporación que tiene lugar en el suelo y por la transpiración de las plantas, en virtud de lo antes mencionado el análisis de este parámetro es fundamental, como indica la Figura 6, la precipitación total anual es 916,4 mm durante todo el año, destacando el mes con mayor precipitación noviembre con 121,3 mm y menor precipitación es agosto con 24,3 mm en esta época existe un déficit.

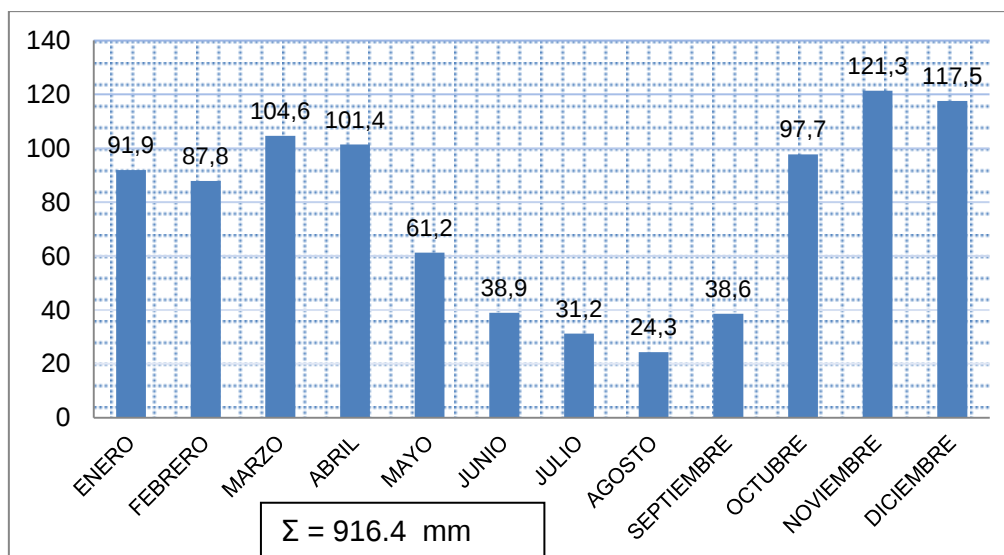


Figura 6. Precipitaciones mensuales promedios, registradas por la estación meteorológica El Ángel para el período 1974-2012, Carchi.

3.2.4. Velocidad y dirección del viento

En la variable viento se encontró con la velocidad y dirección, en la investigación se utilizó los datos de velocidad como se muestra en el Cuadro 5 se observa que, la velocidad del viento promedio es 5.1 m.s^{-1} , la velocidad máxima en el mes de agosto con 6.8 m.s^{-1} y la velocidad mínima es diciembre 4.2 m.s^{-1} , estadísticamente estos datos se obtuvieron tabulando con la media del Anexo 13- Serie 4.

Cuadro 5. Datos de la velocidad del viento mensuales registradas por la estación meteorológica El Ángel, para el período 1974 a 2012, Carchi.

MESES	E	F	M	A	M	J	JI	A	S	O	N	D	Σ	Promedio
m.s^{-1}	4.6	4.3	4.5	4.4	5	6.2	6.1	6.8	6.1	4.8	4.3	4.2	61.3	5.1

Fuente: INAMHI

La evaluación de la dirección del viento implica el método de riego aplicar como menciona Martínez J (2000), que radica considerablemente en la distribución del agua por el método de aspersión, se debe tomar en consideración la dirección del viento, para el diseño del sistema de riego. La tendencia en dirección mueve a la variable precipitación. En la Figura 7 se observa que la dirección del viento presenta dos direcciones bien marcadas que predominan el Sur y Sur- Este.

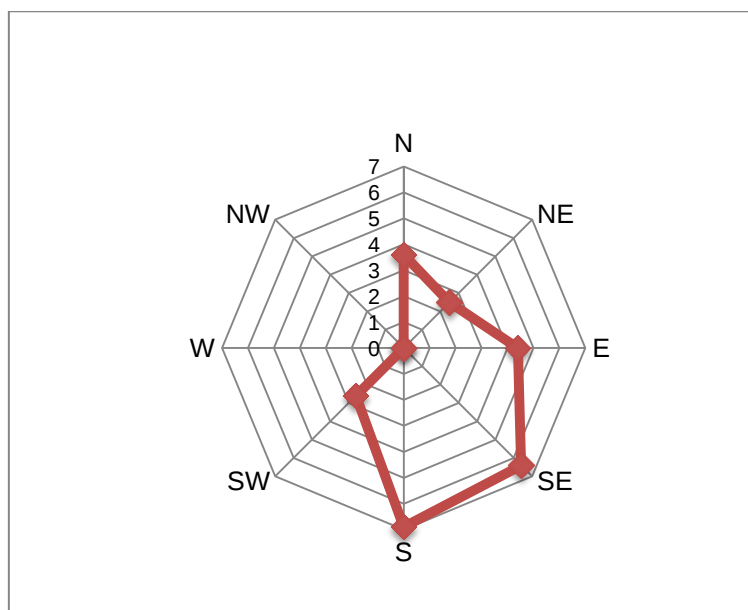


Figura 7. Dirección del viento promedio, registrada por la estación meteorológica El Ángel para el periodo, Carchi.

3.2.5. Humedad Relativa

Rodriguez, Capa , & Lozano (2004). menciona que es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, además a menor humedad relativa , menor contenido de humedad en la atmosfera por lo tanto una mayor fuerza motriz para la transpiración, cuando la humedad relativa es alta , la atmosfera contiene más humedad, lo que reduce la fuerza motriz para la transpiración como es el caso de la zona de estudio y se refleja en la Figura 8, se observa que la humedad relativa anual promedio es de 78%, mostrando la humedad relativa máxima en diciembre con 80% y la humedad relativa mínima en septiembre con 75%.

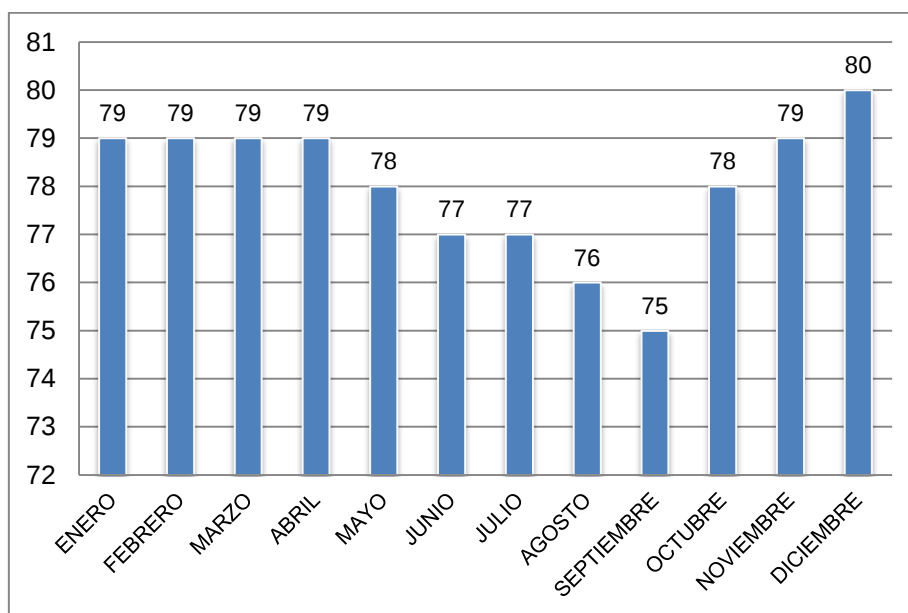


Figura 8. Humedad relativa mensual promedio registrada por la estación meteorológica El Ángel para el período 1974-2012, Carchi.

3.2.6. Diagrama ombrotérmico de Gaussen

Según Almorox (2010), el diagrama ombrotérmico permite identificar el período seco en el cual la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media (como aproximación a la sequedad estacional considerando $2 \cdot t_m$ una estimación de la evapotranspiración). Para su representación, en el eje X se ponen los doce meses del año y en un doble eje Y se pone en un lado las precipitaciones medias mensuales (en mm) y en el otro las temperaturas medias mensuales (en °C). Se debe considerar que la escala de precipitaciones debe ser doble que la de temperaturas. Esto es, por cada °C en temperatura se toma un par de mm en precipitación. Si $P \leq 2 \cdot t_m$ la curva de precipitaciones estará por debajo de la curva de temperaturas y el área comprendida entre las dos curvas indicará la duración e intensidad del período de sequía.

Cuadro 6.Valores de precipitación y temperatura en la elaboración del diagrama ombrotérmico para el período de 1974 a 2012, El Ángel, Carchi.

Meses	P (mm)	T (°C)	Índice de Gaussen
ENERO	91,9	11,8	3,89
FEBRERO	87,8	11,8	3,72
MARZO	104,6	12	4,36
ABRIL	101,4	12,2	4,16
MAYO	61,2	12,1	2,53
JUNIO	38,9	11,6	1,68
JULIO	31,2	11,2	1,39
AGOSTO	24,3	11,2	1,08
SEPTIEMBRE	38,6	11,7	1,65
OCTUBRE	97,7	12,1	4,04
NOVIEMBRE	121,3	12	5,05
DICIEMBRE	117,5	11,9	4,94
Suma	916,4	141,6	
Promedio	76,37	11,8	

Elaborado: Autor

Fuente: INAMHI

Mediante el análisis de las variables climáticas de precipitación y la temperatura media de la estación meteorológica de referencia se construirá el diagrama ombrotérmico para detectar el periodo crítico de menor precipitaciones en el cual existe la necesidad de reestablecer a la planta y al suelo estado óptimo de humedad.

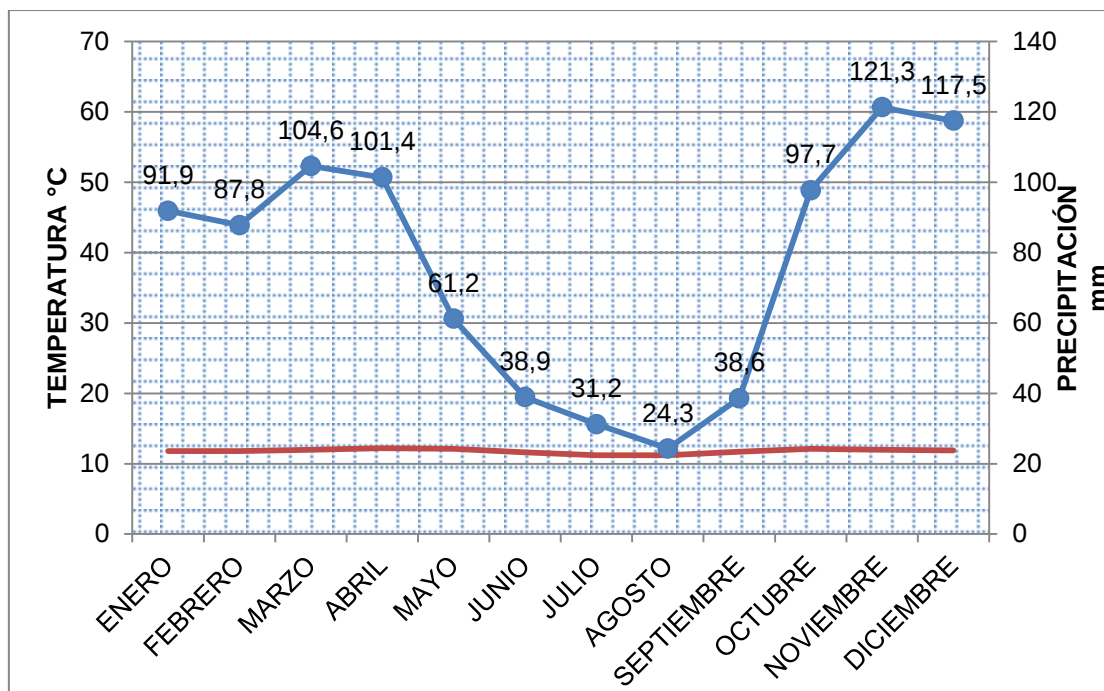


Figura 9. Diagrama Ombrotérmico elaborado con datos de la estación meteorológica El Ángel para el período 1974-2012, Carchi.

En el Cuadro 6, Figura 9 y Tabla 1, se aprecia que los meses extremadamente húmedos son los meses noviembre y diciembre que corresponden al rango > 4.5 en el índice de Gaussen, en la época muy húmeda se encuentran los meses octubre, enero, febrero, marzo y abril que corresponden al rango 3.50 a 4.50, para el mes de mayo es ligeramente húmedo con 2.53, y en los meses de junio, julio, agosto y septiembre corresponde a la época normal con el rango de índice de 1.00 a 3.50.

En la investigación se tomó en cuenta el mes con menor precipitación que es agosto como el mes de época más crítica.

3.2.6.1. Importancia del diagrama ombrotérmico

El diagrama de este tipo pueden obtenerse los datos más importantes para el desarrollo de las plantas, debe destacarse que la aridez y la humedad de las épocas del año, solo deben entenderse de forma relativa para el clima correspondiente (Bibiana Bilbao, 2002).

3.2.6.2. Márgenes de error en el diagrama ombrotérmico

En este diagrama no se toma en cuenta durante la época de humedad, en una localidad determinada, el suelo, de acuerdo a sus propiedades físicas, puede almacenar una cierta cantidad de agua (que generalmente se expresa en mm). Esta, a su vez, puede satisfacer las demandas hídricas de la vegetación durante las primeras semanas o meses que siguen al finalizar la época de lluvia (Bibiana Bilbao, 2002).

3.3. Suelos

La información se la recopiló de los mapas de PRONAREG-ORSTOM (1978B 1985), esta información es de acceso libre y muestra la clasificación taxonómica de suelos de acuerdo al Sistema Americano de Clasificación de Suelos Denominado "Soil Taxonomy, USDA, 1999, en la investigación se diferencian dos órdenes del suelo Andisols y Mollisols de los cuales se mencionan características generales de laboratorio para diferenciarlos.

Según el MAGAP (2012), el orden de Andisols corresponden a las zonas subhúmedas y húmedas que no han alcanzado a desarrollar caracteres diagnósticos de otros órdenes. Estos suelos se caracterizan por poseer altos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de fijar fosfatos y baja densidad aparente.

El mismo autor comenta que el orden de los Mollisols en su mayoría son suelos de color negro; ricos en bases de cambio, muy comunes de las áreas originalmente de praderas que han dado lugar a la formación de un horizonte superior de gran espesor, oscuro, con abundantes materiales orgánicos y de consistencia y estructura favorables al desarrollo radicular.

Las superficies misceláneas son sectores en los que no hay suelo o bien es incipiente. También puede tratarse de sectores inaccesibles con pendientes muy pronunciadas en los cuales los suelos son de escaso desarrollo.

Se determinó en información secundaria de los suelos por (PRONAREG-ORSTOM, 1978B 1985), como se observa en la Figura 9, el orden de los Andisols que ocupa la mayor superficie con 1697.28 ha que corresponde al 50.81 % del polígono en estudio, seguidamente del orden de los Molisoles que ocupan 1618.40 ha que representa el 48.45%.

Como se observa en la Figura 9 la menor superficie la ocupa las tierras misceláneas con 24.87 ha que representa menos del 1%, esta superficie no pertenece a ningún orden como lo anteriormente mencionado es una superficie donde existe suelo incipiente.

Toda información secundaria es para la planificación de campo en la designación de puntos de muestreo, ya que existen lugares de difícil accesibilidad.

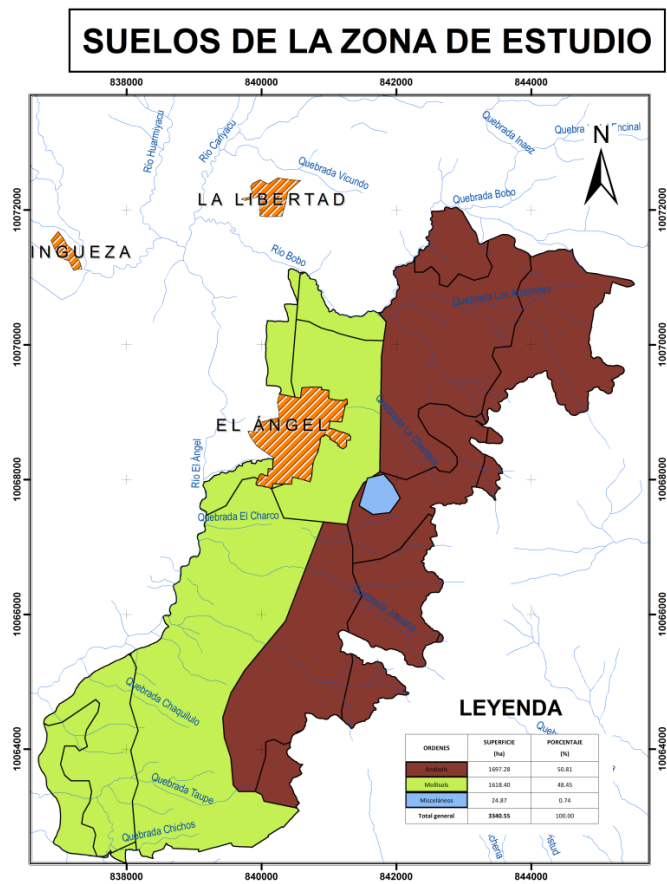


Figura 10. Ordenes de suelo en el sistema de riego Artezón bloques 1 y 2, Carchi 2014

Fuente: (PRONAREG-ORSTOM, 1978B 1985)

3.4. Materiales

3.4.1. Equipos

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS navegador)
- Computadora portátil
- Impresora
- Plotter
- Cámara digital
- Calculadora

3.4.2. Materiales de campo

- Libreta de campo
- Infiltrómetro de minidisco
- Fichas de uso y cobertura
- Flexómetro
- Azadón
- Fundas plásticas
- Anillos metálicos de 3 pulgadas de diámetro por 5 cm de alto

3.4.3. Software

- Software de Sistema de Información Geográfica
- Cropwat 8.0 (FAO)

3.4.4. Información secundaria

- Cartas Topográficas del IGM a 1 : 50 000 Cartas Tufiño, San Gabriel, año 1982
- Anuarios Meteorológicos de INAMHI, series climáticas de 1974 – 2012
- Mapa de sistema de riego de la sub-cuenca del Río El Ángel Carchi- Ecuador, Mapa de fertilidad del ERAS- MAGAP, escala 1:250000, año 2012.

3.4.5. Fotografías aéreas

- Fotografías IGM aéreas en digital, escala 1: 60 000, año 2000
- Imagen satelital Spot 6 1:10 000, año 2013

3.5. Metodología

En el desarrollo del primer objetivo se aplicó el levantamiento de información con la metodología de participación que consiste, en las reuniones de los principales actores, tales como usuarios, dirigentes y organizaciones no gubernamentales que han hecho algunas investigaciones en el sector como el grupo RANDI RANDI. Se realizó el levantamiento del inventario del recurso hídrico específicamente de lo siguiente: características de las fuentes de agua, infraestructura de distribución de riego, demanda de los regantes, y el funcionamiento de los diferentes canales de riego principal y secundario.

En el proceso de segundo objetivo, requerimiento hídrico, es el cálculo de necesidades hídricas de los cultivos con la aplicación del programa informático Cropwat, este programa requiere de las variables (clima, cultivo, suelo). Los factores climáticos en estudio son: temperatura, precipitación, humedad relativa, y velocidad del viento en el cálculo de la evapotranspiración potencial. En los factores de los cultivos requiere de los coeficientes de cultivo, rendimiento, factor de agotamiento crítico, en las diferentes etapas de crecimiento para cada cultivo. En el factor suelo es el cálculo de la lámina almacenable.

El objetivo de la propuesta de distribución técnica es el resultado de la interpretación de los elementos individualización predial, uso y cobertura de la tierra, requerimiento hídrico de los cultivos y asignación de agua en sub-bloques.

3.5.1. Levantamiento de sistemas de distribución de agua existentes

El manejo de la información en las fases de pre campo, campo, pos-campo en la planificación del inventario de los canales principales y secundarios (acequias), es importante como manifiesta Martínez J (2012), en la metodología participativa que permite conocer la situación actual, conflictos en el sistema de riego, levantamiento de información con los principales actores. Finalmente la información se almacena en una base de datos para gestionar cuantos usuarios existen en el sistema y cuantos canales recorren la zona de estudio el resultado es la elaboración del mapa de los sistemas de distribución de agua existentes, como se detalla en la Figura 11.

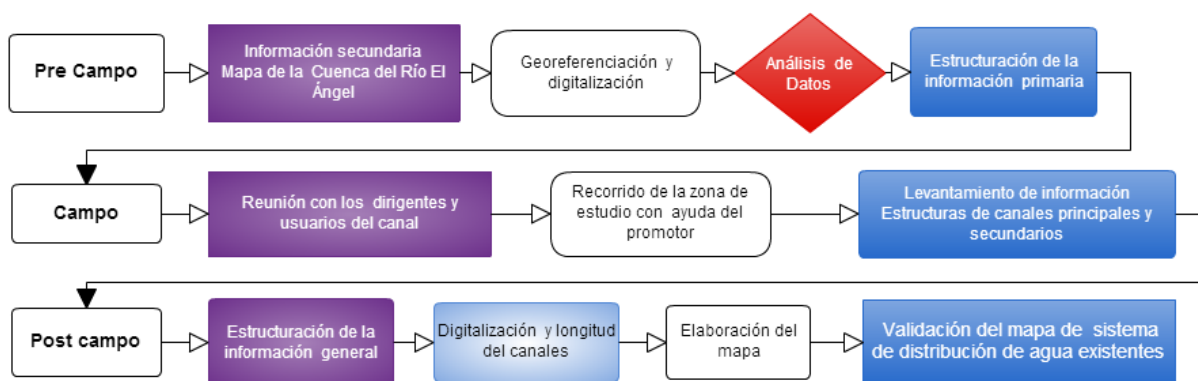


Figura 11. Estructuración del levantamiento de los sistemas de distribución de agua existentes en el área de estudio El Ángel Carchi, 2014.

En la fase de pre campo la base fue la recopilación de información secundaria del mapa de la Cuenca del Río El Ángel escala 1:50 000 que se geo referenció y digitalizó todo el polígono de la zona de estudio, esta información fue proporcionada por el Grupo RANDI-RANDI organismo que se encuentra realizando investigaciones ambientales y problemas sociales. Esta información fue procesada para llevarla a fase de campo

En la fase de campo se identificaron los canales que recorren el polígono de estudio, con ayuda del promotor y el navegador (GPS) en tiempo real, se visitaron las estructuras de los canales principales y secundarios conjuntamente con los usuarios del sistema. Toda la información levantada fue geográficamente posicionada

En la fase de post-campo se analizó espacialmente la información secundaria conjuntamente con los datos de campo, se graficó los canales por medio de la digitalización de líneas en formato shp, verificando su ubicación en la orto-imagen IGM a escala 1: 60 000 conjuntamente con la imagen satelital SPOT a escala 1:10 000, además en la imagen satelital se elaboró el catastro, permitiendo ubicar y delimitar los predios.

La validación y control de calidad del mapa de los sistemas de distribución de agua existentes, consistió en la revisión del tutor de los insumos y manejo de la información para la salida gráfica.

3.5.2. Requerimiento hídrico de los cultivos

En el cálculo del requerimiento hídrico se identificó las variables que intervienen como: clima, patrón de cultivos y suelo.

Los datos del clima registrados por la estación meteorológica de referencia El Ángel, se trataron estadísticamente con medias y promedios, para el período de 1974 al 2012. Los factores del clima son: temperatura, precipitación, humedad relativa, y velocidad del viento, estos datos son ingresados en el programa Cropwat el resultado es la evapotranspiración de referencia.

En la determinación del patrón de cultivos se basó estadísticamente según su producción a nivel de provincia, afirmando los principales cultivos, con el estudio de uso y cobertura de la tierra, a partir de estos se estableció el calendario agrícola de la zona de estudio, adjuntando la información de los coeficientes, factor de rendimiento, factor crítico para cada cultivo del manual de Evapotranspiración del cultivo por la FAO (2006), los datos fueron ingresados en el componente de cultivos del programa Cropwat.

En el componente suelo se intervino con muestreos de la zona de estudio en lo que respecta a las propiedades físicas del suelo, en estos sitios se recolectó las muestras de suelo, también se realizó los ensayos de infiltración por el método del mini disco en el cálculo de la velocidad de infiltración. Todos los muestreos se ingresaron en una base de datos y en un sistema de información geográfica, para cubrir toda la zona de estudio se usó la extrapolación de estos datos sectorizados. Todo es para el cálculo de la lámina almacenable del suelo.

En el programa informático Cropwat, los cálculos que se basan en fórmulas ya determinadas que se detallaran más adelante, los resultados son: la evapotranspiración potencial, evapotranspiración de

cultivo, precipitación efectiva, y el requerimiento hídrico de cada cultivo como se aprecia en la Figura 12.

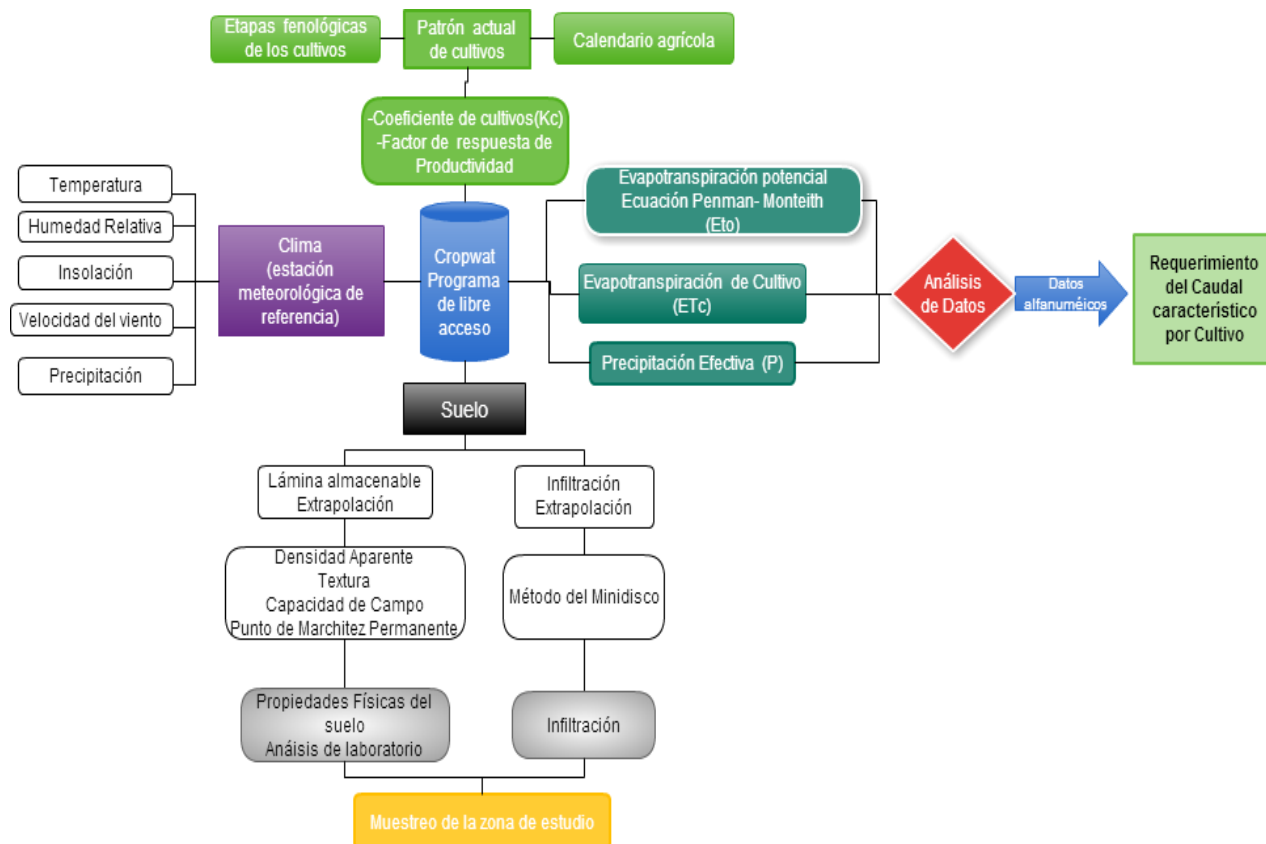


Figura 12. Estructuración para el cálculo del requerimiento hídrico de los cultivos del bloque 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014.

3.5.2.1. Cálculo del requerimiento hídrico de cultivo

Para el cálculo del requerimiento hídrico, se utilizó el cálculo de evapotranspiración desarrollado por Penman-Monteith, el cual se encuentra automatizado en el programa informático de libre acceso Cropwat, FAO (2006).

3.5.2.2. Cropwat

Es un programa desarrollado por la FAO que evalúa el Requerimiento Agua de los Cultivos (RAC), se encuentran ocho módulos, el primer módulo se basa en parámetros como la Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto), este parámetro lo determina con la información de la ubicación de la estación meteorológica y variables climáticas antes analizadas estadísticamente como: temperatura mínima, temperatura máxima o la temperatura media, humedad relativa, velocidad del viento,

Insolación, radiación solar. Se basa en la aplicación de la ecuación Penman-Monteith como menciona la (FAO 2006).

Ecuación de FAO Penman- Monteith

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Dónde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)

R_a = Radiación extraterrestre (mm día^{-1})

G = Flujo de calor de suelo ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)

T = Temperatura media del aire a 2m de altura ($^{\circ}\text{C}$)

u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1})

e_s = Presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = Presión real de vapor de saturación (kPa)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa)

γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

3.5.2.3. Precipitación Efectiva

El segundo módulo es precipitación, con los cálculos obtenemos el resultado de precipitación efectiva en el programa Cropwat, previo al análisis de los registros históricos de estadísticamente con la media, los datos de precipitación ingresada son las medias de precipitación, acuerdo con un análisis llevado a cabo para diferentes climas semiáridos y subhúmedos, una fórmula empírica se desarrolló en el Servicio de Aguas de la FAO para estimar la precipitación confiable como el efecto combinado de la precipitación confiable (80% de probabilidad de excedencia) y las pérdidas estimadas debido a la Escorrentía Superficial (ES) y a la Percolación Profunda (PP). Esta fórmula puede ser utilizada para fines de diseño, en caso que se requiera el valor de la precipitación con 80 % de probabilidad de excedencia: reconoce las siguientes ecuaciones de la FAO (2006):

$P_{ef} = 0.6 * P - 10$ para P mensual ≤ 70 mm

$P_{ef} = 0.8 * P - 24$ para P mensual > 70 mm

3.5.2.4. Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos

Se calculó la evapotranspiración del cultivo mediante la fórmula que menciona la FAO (2006):

$$ETc = ETo * kc$$

Dónde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo mm. día⁻¹

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia mm . día⁻¹

kc = coeficiente del cultivo ver Cuadro 7 (kc de cultivos FAO(2006))

La determinación de los cultivos de importancia se llevó a cabo por el uso de la tierra afirmando la información con los datos estadísticos agrícolas reportados por el INEC 2010 de producción en la provincia del Carchi. En el Cuadro 7 se observa los coeficientes de cultivos kc citados por la FAO en las diferentes etapas de crecimiento: final de los cultivos. Estos datos se ingresaron en el programa Cropwat .

Cuadro 7. Datos del coeficiente en el crecimiento inicial medio y final, de los principales cultivos, para el sistema de riego El Artezón, bloques 1 y 2 Carchi, 2013.

Cultivo	kc inicial	kc med	kc final
Pasto cultivado	0.85	0.95	0.85
Papa	0.5	1.15	0.75
Pasto natural	0.8	0.75	0.75
Cebada	0.15	1.1	0.25
Haba	0.5	1.15	1.1

Fuente: (FAO, 2006)

3.5.2.5. Cultivo

El módulo siguiente es el de cultivo que requiere los siguientes datos:

- Fecha de siembra
- Coeficiente del cultivo (kc)
- Etapas de crecimiento
- Profundidad radicular (promedio)
- Altura del cultivo (m)
- Fracción de agotamiento crítico (p)
- Factor de respuesta de rendimiento(ky)

Cada parámetro solicitado en el componente cultivo del programa Cropwat, se consultó de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO (2006). Como se observa en el Cuadro 8, las características de profundidad de las raíces con la respectiva altura del cultivo.

Cuadro 8. Datos de la profundidad radicular inicial y final de crecimiento, con la altura de los principales cultivos en el sistema de riego El Artezón, Carchi, 2013.

Cultivo	profundidad radicular inicial	profundidad radicular Final	altura (m)
Pasto cultivado	0.8	0.8	0.4
Papa	0.4	0.6	0.8
Pasto natural	0.7	0.7	0.2
Cebada	1	1.5	1.05
Haba	0.3	1	1.5

Fuente: (FAO, 2006)

Como se observa en el Cuadro 9, son los datos ingresados en el programa Cropwat referente a la fracción de agotamiento crítico de los principales cultivos consultados de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos FAO (2006)

Cuadro 9. Fracción de agotamiento crítico de la humedad en el suelo para cultivos principales en diferentes etapas de crecimiento, para el sistema de riego El Artezón, bloques 1 y 2, Carchi, 2013.

Cultivo	p- Cuadro	p inicio	p medio	p final
Pasto cultivado	0.6	0.7	0.6	0.7
Papa	0.35	0.5	0.4	0.4
Pasto natural	0.5	0.65	0.58	0.66
Cebada	0.55	0.7	0.6	0.7
Haba	0.45	0.57	0.47	0.47

Fuente: (FAO, 2006)

Como se observa en el Cuadro 10, son los datos ingresados en el programa Cropwat referente al factor de respuesta de productividad de los cultivos consultados de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos FAO (2006)

Cuadro 10. Factor de respuesta de la productividad (ky) de los principales cultivos por etapa de crecimiento para el sistema de riego El Artezón, bloques 1 y 2 Carchi, 2013.

Cultivo	I	II	III	IV	V
Pasto cultivado	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Papa	0.45	0.8	0.8	0.3	1.1
Pasto natural	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Cebada	0.2	0.6	0.5	0.4	1
Haba	0.4	0.6	0.8	0.6	0.8

Fuente: (FAO, 2006)

3.5.2.6. Suelo

Para la fase de campo en el levantamiento de información del componente suelo, se realizó las siguientes actividades: descripciones de perfiles, barrenaciones y muestreo de suelos (doble anillo) En cada muestreo se observó características como por ejemplo: tipo horizonte, espesor, color, textura y profundidad efectiva, posteriormente se enviaron las muestras de suelo al laboratorio, para determinación de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente y textura del suelo que corresponden a las propiedades físicas del mismo.

En el ingreso de los datos del módulo de suelos en el programa Cropwat, inicia con la humedad del suelo, los datos ingresaron son capacidad de campo y punto de marchitez permanente, también solicita datos de lámina almacenable que se aplicó la siguiente fórmula establecida por la FAO (2006):

$$La = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pr$$

Dónde

La = lámina almacenable ($mm.m^{-1}$)

CC = Capacidad de Campo (%)

PMP = Punto de Marchitez Permanente(%)

Da = Densidad Aparente ($g.cm^{-3}$)

Pr = profundidad efectiva (m)

3.5.2.6.1. Muestreo de la zona de estudio para el componente de suelos

Para cubrir la extensa superficie y homogenizar los datos por sectores, se realizó una malla o cuadrícula en el mapa base, cuyos vértices están a una distancia de 1500 m, colocando así los puntos de muestreo en cada zona homogénea. Se realizaron en todo el polígono de estudio 14 muestreos

del suelo como se muestra en la Figura 13, a la vez en los mismos sitios se realizó los ensayos de infiltración, las muestras de suelo fueron enviadas al laboratorio para la determinación de las propiedades físicas del suelo.

Los datos que reportó el laboratorio son ingresados en un sistema de información geográfica, lo cual permite identificar gráficamente donde están ubicados como se muestra en la Figura 13 , pero no cubren toda la zona de estudio motivo por el cual se usó la extrapolación, método de vecindad, esto ayudo a la interpretación de la lámina almacenable por sectores homogéneos.

Según FAO (2003), el método IDW combina el concepto de vecindad entre sitios con disponibilidad de datos con un cambio gradual de las superficies definidas con una tendencia. Se supone que el valor del atributo Z en una posición donde el valor del atributo no es conocido es un promedio de los valores de sus vecinos pero donde los vecinos más cercanos tienen más peso o importancia que los más alejados.

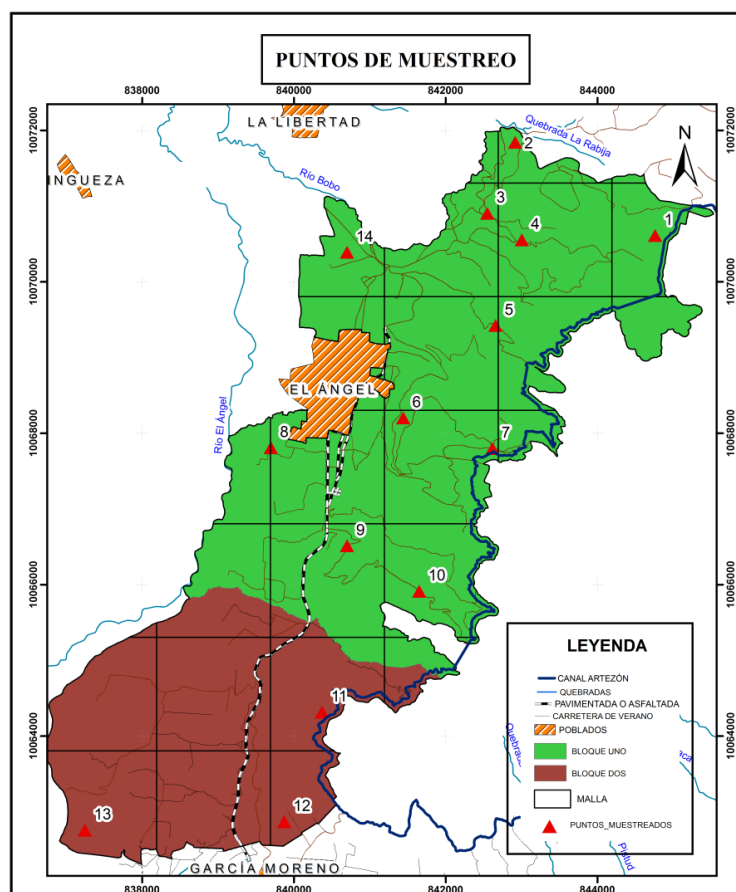


Figura 13. Puntos de muestreo para el componente de suelos para el sistema de riego El Artezón bloque 1 y 2, El ángel, Carchi 2014.

3.5.2.6.2. Infiltración

Se realizaron las pruebas de infiltración por el método del minidisco en los puntos de muestreo como se observa en la Figura 13, los datos de velocidad de infiltración fueron ingresados en el programa Cropwat, en el componente suelo. Los datos de velocidad de infiltración ayudaran a evaluar el método de riego aplicarse en la zona de estudio. El procedimiento fue el siguiente:

3.5.2.6.2.1. Ensayos de infiltración por el método del minidisco

En la aplicación del ensayo del método de infiltración del minidisco se realizó lo siguiente:

- Se seleccionó el sitio adecuado de los puntos de muestreo, evitando las zonas excesivamente compactadas por maquinarias o por el pisoteo de animales.
- Se preparó el minidisco, llenando de agua a la cámara de succión tres cuartas partes, luego se llenó la otra cámara donde se aforó a los 80 ml.
- Se colocó el infiltrómetro en el sitio planificado, y se procedió a tomar las lecturas cada treinta segundos iniciando un volumen de partida hasta llegar a los cinco minutos.
- Las lecturas se anotaron en la libreta de campo conjuntamente con la textura de campo.
- Los valores se llevaron a gabinete donde se ingresó en la tabla de cálculo Excel que dará valores de infiltración por mm/h estos valores se ingresaron al programa Cropwat.
- Se realizó una salida gráfica, para el análisis en donde se evaluó el método de riego.

3.5.2.7. Cálculo de Requerimiento de los cultivos

En el cálculo del requerimiento hídrico del programa Cropwat, se llenó la base de datos, iniciando por el módulo de clima, precipitación, cultivos, y suelo. en la aplicación de las formulas mencionadas con anterioridad, y finalice con el último parámetro que se basa en el requerimiento hídrico de los cultivos.

El requerimiento de cada cultivo analizado se lo establece por la fórmula que menciona (Cadena Navarro 2012):

$$Rh = ETc - Pe$$

Dónde:

Rh = Requerimiento hídrico de los cultivos mm. dec⁻¹

ETc = Evapotranspiración del cultivo mm. dec⁻¹

Pe = precipitación efectiva mm. dec⁻¹

3.5.3. Propuesta para la distribución técnica del agua de riego

Como se observa en la Figura 14, el conjunto de los cuatro principales elementos a considerar para la propuesta son: individualización predial, uso de la tierra está dos variables interactúan en los principios del diseño agronómico que es el resultado de superficie regable; el requerimiento hídrico de los cultivos, y asignación de agua es otra de las interacciones en la determinación de cuánta agua existe para la demanda y dar prioridad a las zonas que poseen características de suelos óptimos.

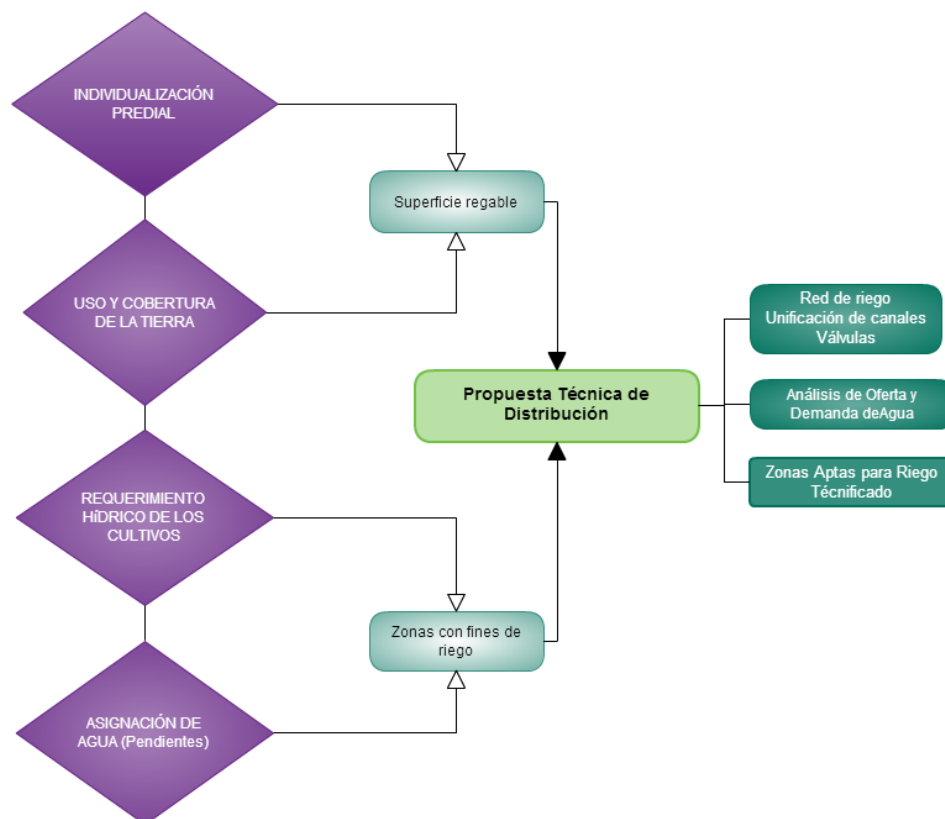


Figura 14. Estructuración de la propuesta técnica en el sistema de riego Artezón bloque 1 y 2 El Ángel, Carchi, 2014.

3.5.3.1. Individualización predial

La meta es caracterizar la individualización predial, poseer información de los usuarios que estén involucrados en el proyecto del sistema de riego El Artezón mediante una base de datos y limitando sus predios que ayudará en el catastro. Los beneficios para este objetivo es identificar no solo alfanuméricamente si no también espacialmente a cada uno de los usuarios, cabe resaltar la no existencia de un padrón de usuario ni un catastro del municipio en lo que respecta a Espejo en el Sector El Ángel, para el sector de García Moreno se adjuntó la información del municipio de Bolívar, la información proporcionada fue del catastro del 2012. En global toda la información se va a manejar en un sistema de información geográfica.

Procedimiento del levantamiento de información

- Establecimiento de la zona de estudio que aportará una planificación eficaz previa a salida de campo
- Recopilación de información: Municipios, Socios de Junta de Regantes
- Identificación del predio del usuario mediante mapas impresos a escala 1:5 000 donde consta la imagen satelital spot
- Comprobación de los colindantes
- Digitalización de los mapas parlantes en la proyección Universal Transversa de Mercator, Zona 17 S con la construcción de la base de datos está se basó en la metodología de individualización predial rural del MAGAP

3.5.3.2. Uso y cobertura de la tierra

Es conocer el uso actual de la tierra de la zona de estudio, por lo general son los cultivos de importancia económica, la estructuración de información primaria como calendarios agrícolas proporcionados por el MAGAP, es la principal perspectiva de que se va encontrar en la zona.

En la fase de campo se realizó el recorrido de la zona de estudio con aplicación fichas de registro que constan de material fotográfico y la descripción de los cultivos, se determinaron algunos cultivos de ciclo corto y pastos en los bloques 1 y 2.

En la fase de post-campo se realizó el análisis de la información levantada en campo, esta información se ingresó en la base de datos, luego se la digitalizó, las unidades de uso de la tierra en SIG. Fundamentalmente es la fotointerpretación de la imagen satelital Spot 1:10 000, simultáneamente relacionando con recorrido en campo.

Las unidades que no tienen uso agropecuario se las denomina como “No aplicable”, mientras que las zonas con vegetación natural tampoco ingresaran para las zonas de riego.

Este insumo de información servirá de apoyo conjuntamente con la individualización predial para la asignación de cuánta agua requieren según su cultivo y cuánta superficie regar.

3.5.3.3. Cálculo del requerimiento hídrico por superficie

En el análisis del diagrama ombrotérmico por el método visual en la Figura 8, se determinan los meses de mayor necesidad de agua que son junio, julio, agosto. Para esta época se realizaron los cálculos correspondientes del requerimiento hídrico para los cultivos. El requerimiento máximo se multiplicó por la superficie en uso actual de los predios

El tamaño de la superficie del uso actual de cada predio, se calculó mediante el programa de información geográfica Arc Map (ESRI, 2010).

3.5.3.4. Criterios para la distribución y asignación de agua para la propuesta

La distribución del recurso hídrico está determinada por la pendiente del terreno, ya que identifica la facilidad o dificultad del acceso al riego. La clasificación de tierras con fines de riego establecida por la FAO (1990), se estableció en base a las pendientes. Las clases de tierra I, II, III, IV son las zonas aptas, mientras que la clase V VI y VII son no aptas para riego por su fuerte pendiente.

La asignación del agua se realizó en base a las clases de tierra por cultivo. La importancia del estudio al plantear la asignación de riego, conlleva a diferenciar las características de cada clase de tierra con las variables que se menciona:

- Superficie regable
- Requerimiento de los cultivos
- Características físicas de los suelos

3.5.3.5. Red de riego

Para el establecimiento de la red de riego es necesario un canal principal, este canal debe recorrer toda la zona de estudio y poseer una infraestructura sólida, a partir de este canal se diseñan canales secundarios. La ventaja de tener un canal principal, es la organización de los usuarios de las diferentes acequias. El canal principal es El Artezón por su ubicación y recorrido transversal. El sitio donde se propone el reservorio es donde se unifican los canales, en este sitio se almacenara agua para la época que exista menos precipitación, donde se necesite una dotación adicional de riego en diferentes bloques. La incorporación de válvulas en el canal principal podrá registrar el caudal que están recibiendo por la zona de riego y gestionar de manera necesaria el agua.

3.5.3.6. Análisis de la oferta y demanda de agua

Consiste en identificar cuánta agua ingresa al sistema de riego por caudales de los canales y cuánta agua necesita los cultivos por superficie, es necesario hacer un balance hídrico, comparando la oferta de agua estos datos fueron suministrados por compañía consultora Agroprecisión quienes realizaron los aforos de los caudales en los canales que intervienen, mientras la demanda es la necesidad de los cultivos que es el objetivo de esta investigación con el requerimiento hídrico. Se puede distinguir el exceso o déficit de agua para las zonas agrícolas

3.5.3.7. Zonas aptas para el riego tecnificado

La identificación de las zonas aptas para el riego tecnificado son establecidas por las variables pendiente, y características del suelo; estos requisitos favorecen en el desarrollo del cultivos, se determinaron las clases I, II y III como zonas aptas para riego tecnificado; mientras que la clase IV son pendientes fuertes con restricciones del suelo y difícil acceso al riego

La implementación del riego tecnificado ayudara en el incremento de la productividad en los cultivos de la zona.

3.5.4. Elaboración de cartografía

La preparación de los mapas de la individualización predial, el uso de la tierra, pendientes y sistemas de distribución de agua se efectuaron con el programa ArcMap, ESRI (2010) con la información levantada en campo y el mapa base. Estos mapas contienen una leyenda de símbolos con un membrete de identificación. Los mapas elaborados fueron los siguientes:

3.5.4.1. Mapa Base

La información base se encuentra en proyección UTM y en Datum: World Geodetic System 1984 Zona 17 Sur, a escala 1:10000. Los archivos se encuentran en formato shapefile (shp).

En todos los mapas realizados se coloca la línea base y sus respectivas leyendas.

3.5.4.2. Mapa de Polígono de estudio

El mapa muestra el área de los bloques 1 y 2.

3.5.4.3. Mapa de individualización predial

El mapa muestra los predios digitalizados que fueron agrupados por el tamaño de la superficie del bloque 1 y 2.

3.5.4.4. Mapa del uso y cobertura de la tierra

A través de la individualización predial se elaboró un mapa de uso y cobertura de la tierra. En el mapa se muestra los diferentes usos por colores.

3.5.4.5. Mapa de uso del agua

En el mapa se muestra las áreas del uso de agua, las cuales se representa con distintos colores, para esto se utilizó la individualización predial realizada anteriormente.

3.5.4.6. Mapa de red de riego

En el mapa se presenta toda la distribución de red de riego digitalizado en pantalla.

3.5.4.7. Mapa de puntos de muestreo

En el mapa se ubica los puntos que se realizó el muestreo de suelos para la homogenización de las zonas para el bloque 1 y 2

3.5.4.8. Mapa de infiltración y lámina almacenable

El mapa presentara la extrapolación de los datos obtenidos de laboratorio que refleja la infiltración y la lámina de almacenamiento de agua que existe en el suelo.

3.5.4.9. Mapa de clasificación de tierras con fines de riego

Para el mapa de zonas con fines de riego, se utilizó el software del sistema de información geográfica, el cual permitió identificar todas las clasificaciones que son aptas para riego en el análisis de pendientes, velocidad de infiltración y lámina almacenable.

3.5.4.10. Mapa de unificación de canales de riego

En el mapa se muestra el diseño definitivo de la red de riego de este estudio.

3.5.4.11. Mapa de sub bloques de riego

En el mapa se muestra los sub-bloques que fueron determinados para la distribución de agua.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Levantamiento de los sistemas de distribución de agua existentes

4.1.1. Fuentes del sistema de riego

Se determinó que la principal fuente de agua es la Quebrada de Violines, esta se encuentra dentro de la reserva ecológica El Ángel. Además el canal principal denominado Artezón atraviesa la cuenca hidrográfica del río Carchi al que tributan los siguientes ríos: el río Bobo, río Grande, río Chiquito, río Plata, río Cariyacu, río Morán y río Huarmiyacu.

4.1.2. Canales del sistema

Se realizó el inventario de los canales primarios y secundarios de la zona de estudio, como se aprecia en la Figura 15, se encontró cuatro canales principales que recorren los dos bloques en estudio. El primero es el canal Artezón, que consta con un tramo ya entubado, donde se une con el canal Cunquer, en tanto que los canales San Vicente, y Tambo son canales abiertos y de estructura mixta, en su mayoría tierra, estos canales su recorrido es paralelo el uno del otro. Se encontraron dos canales secundarios, la acequia Chulunguasi involucra la mayoría del bloque uno y su estructura es de tierra. En la acequia Ishpingo la estructura es de tierra.

4.1.3. Canales primarios

Como se observa en el Cuadro 11, se detalla la longitud y características de las estructuras de los canales:

La bocatoma del canal Artezón se encuentra en la Quebrada de Violines, tiene una longitud de 71.74 km hasta el sector de García Moreno. Existe un tramo que está entubado (9.34 km) y el resto del canal es abierto de tierra. Los canales Cunquer y Artezón se unificaron a partir del entubado para el riego del sector El Ángel y García Moreno.

La acequia San Vicente posee dos ramales, el ramal uno, que inicia en la quebrada de Baños, posee una longitud de 11.19 km, mientras que el ramal dos se inicia en las lagunas del Voladero con una longitud de 7.20 km, los dos ramales se unen al inicio de la quebrada La Rabija la longitud a partir de esta sección es de 20.63 km hasta la quebrada Chichos.

La bocatoma del canal Tambo se encuentra a 3200 m snm en el Río Bobo y tiene una longitud de 15.78 km hasta la Escuela Juan León Mera.

4.1.4. Canales secundarios

La acequia Chulunguasi, su inicio es en el sitio de las tres quebradas hasta la Loma el Azufral, posee una longitud 24.84 km su recorrido pasa por una cota 3529 msnm, este canal pertenecía a los pobladores de Cayales, pero por tener muy pocos usuarios se dio su abandono, los pobladores de los alrededores del canal lo han mantenido para su uso.

La acequia Ishpingo, se inicia en el río Cariyacu, a la entrada del poblado de la Libertad tiene una longitud de 8.8 km, toda su estructura es de tierra, atraviesa toda la ciudad El Ángel hasta llegar al sector San Francisco donde desemboca en la quebrada Juarana.

Cuadro 11. Canales y acequias existentes en el sistema de riego El Artezón, 2013.

Cuenca	Canal	Nombre	Tipo	Sitio	X	Y	Longitud (km)	
Río Carchi	Principal	Artezón	Tierra	Q. Piedras	840720	10083402	22.07	71.74
		Artezón	Tierra	Q. Sin Nombre	847406	10080613		
		Artezón	Entubado	Los Pimanes	846863	10071551	9.34	
		Artezón	Entubado	Chavayán	843163	10068910		
		Artezón	Tierra	Chavayán	843163	10068910	40.33	
		Cunquer	Tierra	Tanques de García Moreno	840490	10063195		
Río El Ángel	Secundaria	Chulunguasi	Tierra	Las tres Quebradas	849244	10076380	24.84	
		Chulunguasi	Tierra	El consuelo	843231	10067864		
Río El Ángel	Principal	San Vicente de Pusir	Tierra	Laguna del voladero	847891	10076694	7.2	
		San Vicente de Pusir	Tierra	Quebrada de Plátanos	845949	10071428		
		San Vicente de Baños	Tierra	Laguna de Baños	842739	10069119	11.2	
		San Vicente de Baños	Tierra	Quebrada de Plátanos	842414	10067994		
		San Vicente	Mixto	Quebrada de Plátanos	842414	10067994	20.62	
		San Vicente	Mixto	Quebrada los anuarios	839061	10062491		
Río El Ángel	Principal	Tambo	Mixto	Río Bobo	842475	10071526	15.78	
		Tambo	Mixto	Poblado de García Moreno	839436	10064124		
Río El Ángel	Secundaria	Ishpingo	Tierra	Río Cariyacu	839646	10071552	8.81	
		Ishpingo	Tierra	Quebrada Juarana	840705	10066641		

Fuente: Autor

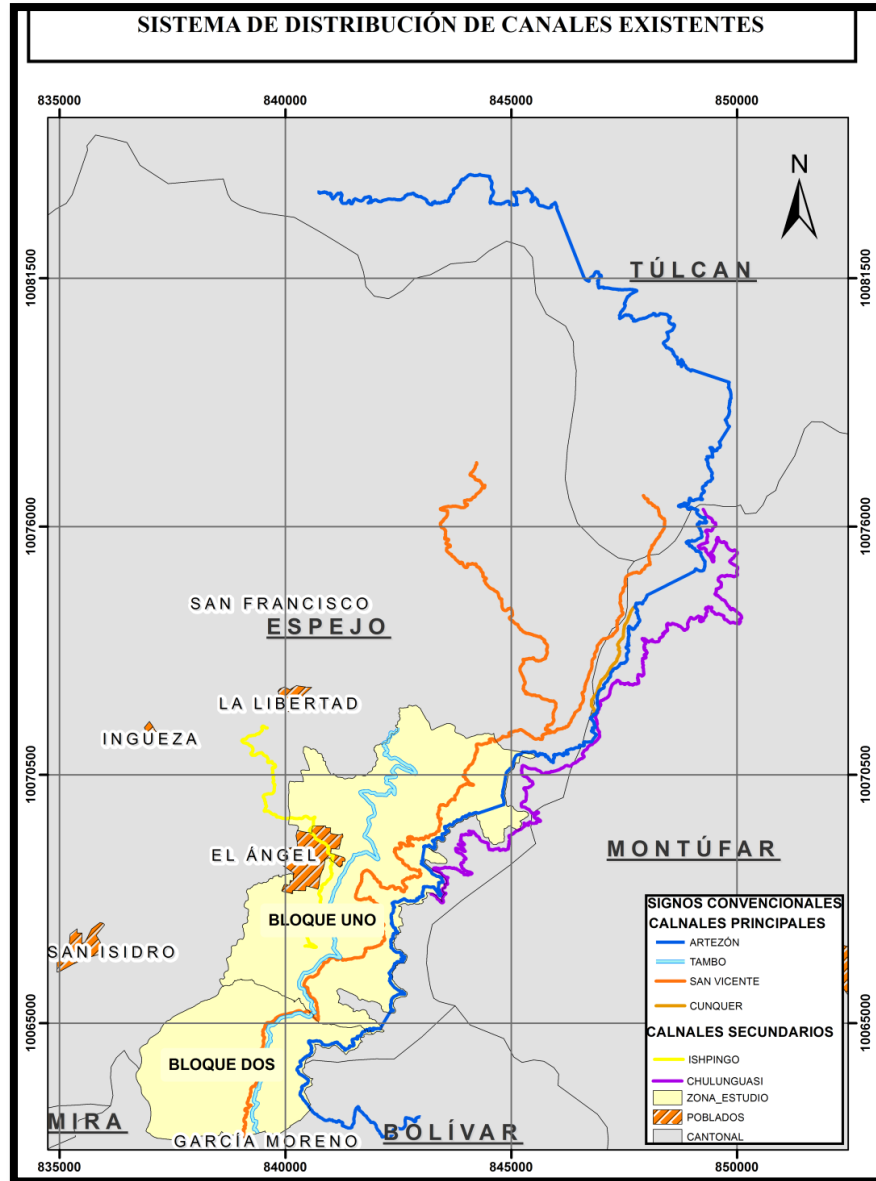


Figura 15. Canales de riego existentes en el área de estudio del sistema de riego Artezón El Ángel, García Moreno, Carchi, 2014.

En la Figura 15, se observa los principales canales que son: Artezón, Cunquer, San Vicente, El Tambo y otros secundarios como: las acequias Chulunguasi y la Ishpingo. El recorrido de estos canales son paralelos uno de otro. Cabe destacar que el recorrido del Artezón sigue la cota más alta aproximadamente 3000 a 2400 m.s.n.m.; motivo por el cual, es considerado canal principal para la propuesta en el nuevo sistema de riego denominado Artezón Nueva Vida, que facilitaría el diseño de los canales secundarios. La reunión de los canales principales en el sitio de los Encinales, sirve para el planteamiento del reservorio que regulara la distribución uniformemente del recurso hídrico según el requerimiento del cultivo.

4.1.5. Individualización predial rural

En la individualización predial, se encontró un total de 621 predios los cuales están conformados, para el bloque 1 con 408 predios y en el bloque 2 con 213 predios. En la estratificación de predios consiste en agrupar los predios mediante los rangos de superficie establecidos, esto permite la identificación de los pequeños, medianos y grandes productores como se aprecia en el Anexo 2.

4.1.5.1. Individualización predial del bloque 1

En la identificación de los predios, para el bloque 1, se encontró con 408 usuarios, como se aprecia en el Cuadro 12, la mayor cantidad de predios pertenecen al estrato I, estos están situados en el poblado de El Ángel con un 57.6% que corresponde a 235 predios. Están dentro del rango de 0,1 a 2 ha, son productores ganaderos de altura con una agricultura complementaria de ciclo corto con acceso a riego del sub páramo, mientras que el menor porcentaje es el estrato V con el 1 % que representa a 3 usuarios, pero con un rango de superficie mayor a 100 ha, esto corresponde a grandes productores con acceso a riego en la zona alto andina.

Cuadro 12. Estratificación de predios basado en la superficie, bloque 1, sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014.

Estratos	Rango Superficie (ha)	Total de predios	Porcentaje %
I	0.1 - 2	235	57.6
II	2.01 - 20	152	37.2
III	20.01 - 50	11	2.7
IV	50.01 - 100	7	1.7
V	100.01 a más	3	0.7
	Total	408	100

4.1.5.2. Individualización predial del bloque 2

En la individualización predial para el bloque 2, se encontró 213 usuarios como se observa en el Cuadro 13. Se obtuvo con mayor porcentaje al estrato II con 56.3% que corresponde a 120 predios, con un rango de 2 a 20 ha, que son productores de ciclo corto del sub-páramo, sin acceso al riego; mientras que el menor estrato es IV con un porcentaje de 1.4% que representa 3 predios, con un rango de 50 a 100 ha, que son productores con predominancia agrícola en la zona del alto andino.

Cuadro 13. Estratificación de predios basados en la superficie, bloque 2, sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi.2014.

Estratos	Rango Superficie (ha)	Total de predios	Porcentaje %
I	0,1 - 2	86	40.4
II	2 - 20	120	56.3
III	20 - 50	4	1.8
IV	50 - 100	3	1.4
	Total	213	100

4.1.6. Tamaño de la zona de estudio

Para la determinación de la superficie de la zona de estudio se restaron la superficie que ocupan los cuerpos de agua y las construcciones que no aplican para el riego, el resultado de esta área se intervino al realizar el análisis de uso y cobertura de la tierra, como se observa en el Cuadro 14, el área de intervención para el bloque 1 ocupa una superficie de 2140.8 ha, mientras que para el bloque 2 ocupa 1124.4 ha.

Cuadro 14. Área regable, para el bloque 1 y 2 en el sistema riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014.

Zona en estudio	Superficie (ha)	Construcciones (ha)	Cuerpos de agua (ha)	Área total (ha)
Bloque 1	2202.42	59.25	2.34	2140.8
Bloque 2	1138.13	13.04	0.67	1124.4
Total	3340.55			3265.2

4.2. Requerimiento hídrico de los cultivos

Se realizó el levantamiento predial, para la identificación del padrón de usuarios que intervienen en el sistema de riego, se calculó la superficie por predio, El siguiente paso es saber el uso de la tierra de cada predio. Una vez identificado superficie y tipo de cultivos se procede a calcular los valores del requerimiento hídrico para cada cultivo de la zona con el programa informático CROPWAT.

En el programa informático CROPWAT se ingresan campos como: datos climáticos, datos de cultivos, datos del suelo para el cálculo del requerimiento hídrico.

4.2.1. Uso y cobertura de la tierra

Se identificaron los diferentes cultivos de mayor superficie de producción en el polígono de estudio, se encontró para el bloque 1, que predomina el pasto cultivado, mientras para el bloque 2, predominan los cultivos de ciclo corto como la cebada y la papa, los cultivos antes mencionados ocupan superficie extensa para cada bloque, esto permitió identificar el comportamiento agrícola o ganadero, y la distinta vegetación como se observa en el (Anexo 3)

4.2.1.1. Uso y cobertura de la tierra para el bloque 1

Como se observa en la Figura 16, ocupa la mayor superficie el pasto cultivado con el 46 % que representa 985.63 ha, a continuación en importancia es el cultivo de papa con 21.5% que ocupa una superficie de 459.27 ha, mientras tanto que la menor superficie es el cultivo de haba y cebada con menos del 1% que corresponde a 12.9 ha. Como lo mencionado por (Proaño & Paladines, 1998) que esta zona es dedicada a la ganadería, con pastizales cultivados de mucha edad, con rotación de cultivos de ciclo corto.

Para zonas de barbecho existe una superficie 58.6 ha que está en descanso agrícola para rotar con los cultivos o renovar los pastizales.

También se caracterizó el matorral húmedo, y bosque secundarios, superficies que no tiene uso agrícola con un 20.1%. Esto ocupa 431.9 ha. Para el cultivo de las flores se encontró con 1.8% para este cultivo existe un sistema controlado en invernadero razón por la cual no se considera para la investigación

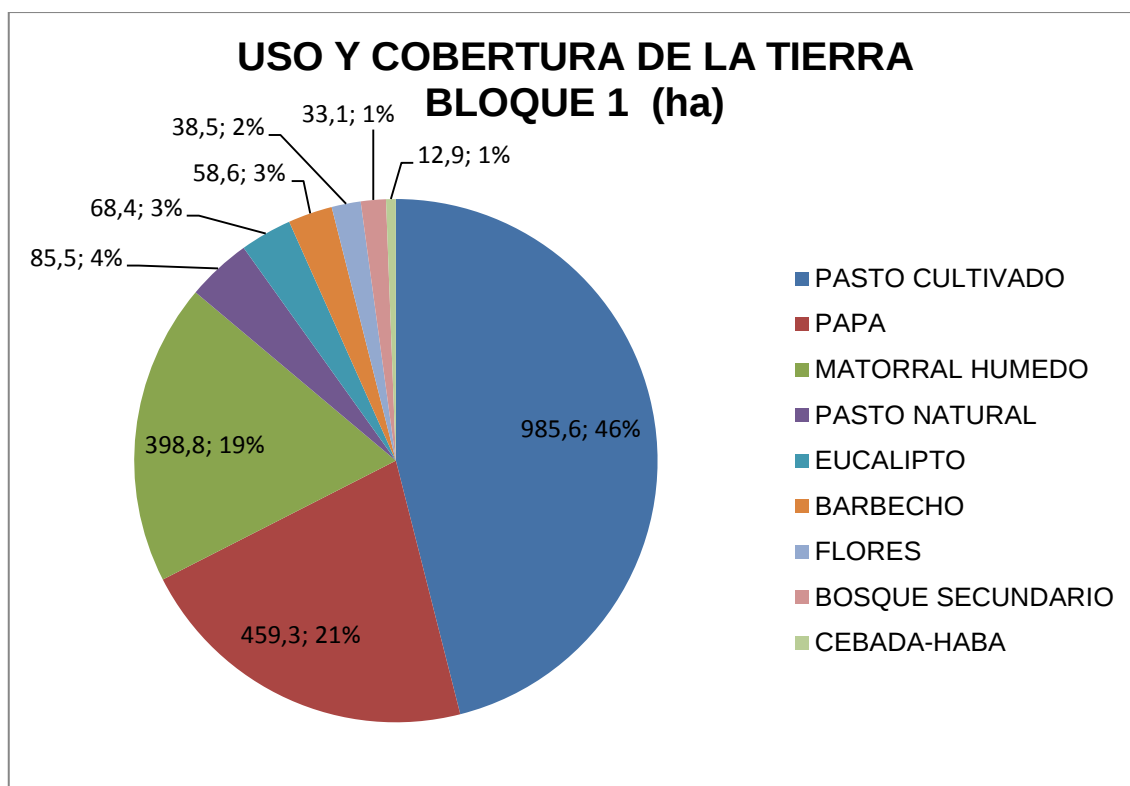


Figura 16. Superficie que ocupan los principales cultivos en el sistema de riego Artezón, bloque 1, Carchi 2014.

4.2.1.2. Uso y cobertura de la tierra para el bloque 2

Como se observa en la Figura 17, la mayor producción es el cultivo de cebada con 30.3 % que ocupa una superficie 341 ha, seguido del cultivo de papa con un 15.9% que ocupa una superficie 178.2 ha y el cultivo de haba con 11.2 % que ocupa una superficie de 126.4 ha, mientras que con menos del 1% está el pasto cultivado.

Esto confirma lo expuesto por (Tapia, 2000), en la zona correspondiente del bloque 2 se encontró cultivos de ciclo corto, estos cultivos se rotan entre sí, cebada, haba, papa maíz y trigo, en tanto que el sector ganadero no está definido, por el pasto natural se observa que no hay rotación, esto se debe a que los productores no mejoran los potreros dedicados a la ganadería ya que generalmente estos poseen pendientes altas.

La superficie que no tiene uso agrícola son el matorral húmedo, matorral xerofita, eucalipto y bosque secundario con 453.2 ha que corresponde a 40.2 %.

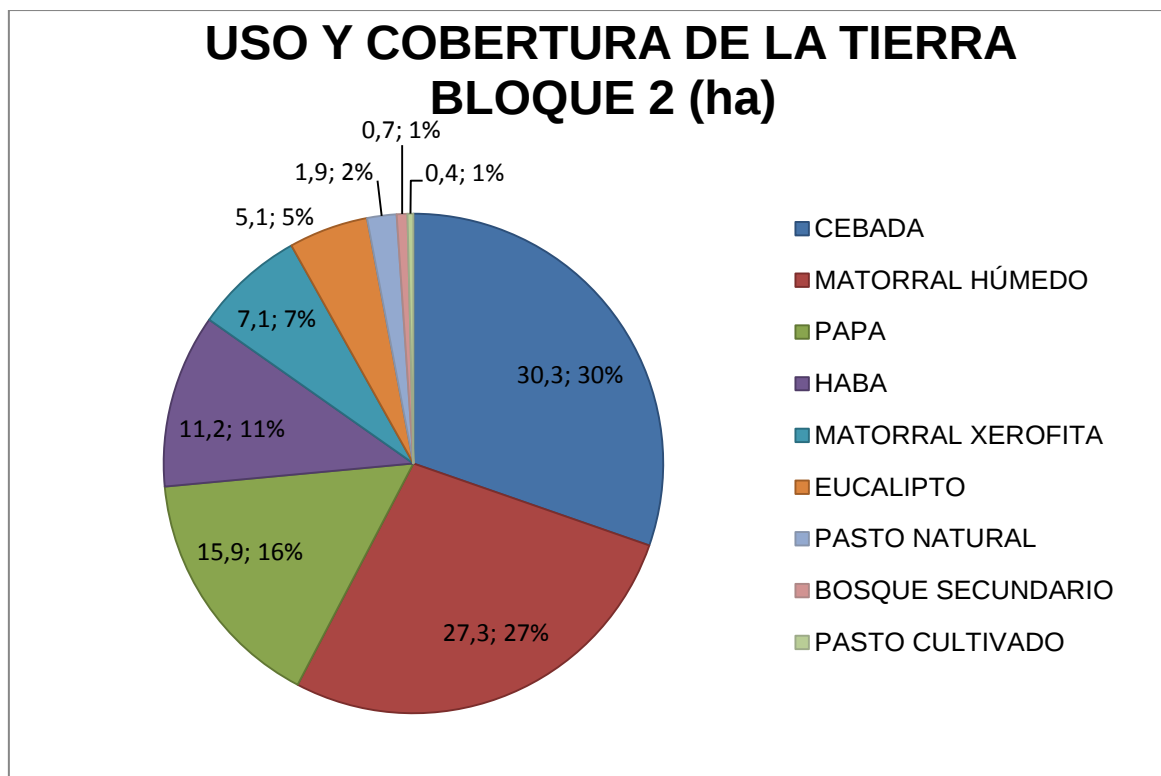


Figura 17. Superficie que ocupan los principales cultivos en el sistema de riego Artezón, bloque 2, Carchi 2014.

4.2.2. Uso del agua

Para la determinación del uso adecuado del agua en área agrícola, se empalmaron las diferentes capas como individualización predial, uso actual y las diferentes pendientes que influyen en el polígono de estudio, para dotar de un riego óptimo.

La capa de individualización predial es la base del registro de usuarios, luego se identificó las zonas con uso agrícola dejando de lado el matorral húmedo, matorral xerofitas, el eucalipto, bosque secundario, área urbana, hidroeléctrica, tanques de agua, reservorios y zonas florícolas donde los sistemas son controlados, estas áreas antes mencionadas se denominaron como no aplicable, posteriormente se discriminaron las pendientes mayores de 40 %.

Como se observa la Figura 18, la superficie que se dará mayor interés de estudio es de 2077.27 ha que corresponde 62.18%, mientras que la superficie no considerada es de 1263.28 ha que corresponde al 37.82 %, esta superficie se dedicará a la conservación y reforestación, ya que contienen pendientes mayores de 40 %.

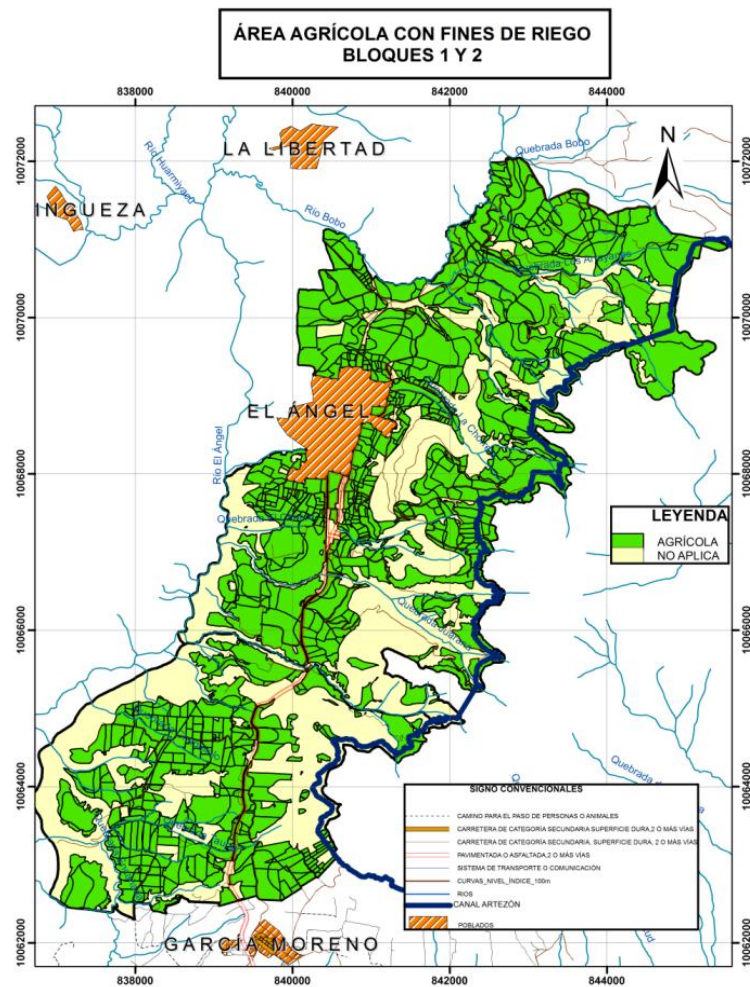


Figura 18. Área agrícola para los bloques 1 y 2 en el proyecto de riego Artezón. El Ángel, Carchi 2014.

4.2.3. Cálculo de requerimiento hídrico

Se procedió a ingresar los datos en el programa informático CROPWAT, del clima, cultivo y suelo. Los valores que permiten el cálculo del requerimiento hídrico son ETo (Evapotranspiración cultivo de referencia), kc (coeficiente de cultivo) ETc (Evapotranspiración de cultivo), La (lámina almacenable), I (infiltración), Pe (Precipitación Efectiva), estos valores son el resultado de los cálculos que el programa realiza están fundamentados por fórmulas establecidas.

4.2.3.1. Datos climáticos para el cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETo)

Los datos climáticos adquiridos de la estación Meteorológica El Ángel (Anexo 13) desde el año 1974 hasta 2012 se realizó promedios mensuales a las series para cada variable climática, luego se ingresaron en el programa Cropwat 8.0, el resultado del primer módulo es la Evapotranspiración potencial mensual, así se observa que en el Cuadro 15, para el mes de septiembre alcanza una

máxima evapotranspiración con 3.59 mm.día⁻¹ por el contrario en el mes de julio es el mes que tiene la mínima evapotranspiración con 3.09 mm.día⁻¹, se aprecia un promedio general de 3.27 mm día⁻¹.

Lo reportado del estudio de Montenegro, (1998), de los datos registrados por la estación meteorológica El Ángel, utilizó el programa informático Cropwat versión 5.7, en la determinación de la evapotranspiración de cultivo de referencia dio como resultado, la máxima evapotranspiración es del mes de septiembre con 2.70 mm.día⁻¹ y la más baja para el mes de abril con 2.41 mm.día⁻¹ con un promedio de 2.5 mm.día⁻¹

Cuadro 15.Datos climáticos obtenidos de la estación de referencia El Ángel, en el sistema de riego Artezón, para el bloque 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	Horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	4.6	19.5	79	4.6	4.6	15.9	3.20
Febrero	4.8	19.7	79	4.3	4.8	16.8	3.31
Marzo	1	19.4	79	4.5	5.1	17.5	3.36
Abril	5.6	19	79	4.4	5.6	17.8	3.31
Mayo	5.4	18.8	78	5	5.4	16.6	3.22
Junio	4.6	18.4	77	6.2	4.6	14.9	3.13
Julio	4.3	18.2	77	6.1	4.3	14.7	3.09
Agosto	4.2	18.9	76	6.8	4.2	15.2	3.35
Septiembre	4.5	19.9	75	6.1	4.5	16.3	3.59
Octubre	4.7	20.2	78	4.8	4.7	16.6	3.43
Noviembre	4.5	19.8	79	4.3	4.5	15.8	3.21
Diciembre	4.7	19.4	80	4.2	4.7	15.8	3.10
Promedio	4.8	19.3	78	5.1	4.8	16.1	3.27

Fuente: CROPWAT 8.0

4.2.3.2. Datos para el patrón de cultivos

Los datos se determinaron en base al uso de la tierra, identificando los cultivos de papa, cebada haba y pastos, analizado de cada cultivo el ciclo vegetativo, se detalla el comportamiento de siembras y cosechas que constan en el calendario agrícola, como se observa en el Cuadro 16, iniciando la siembra de la mayoría de cultivos de ciclo corto por el mes de febrero e inicios de septiembre mientras que para el mes de cosechas es de julio, diciembre y enero.

Cuadro 16. Calendario agrícola para el bloque 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014.

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT	NOV	DIC
Intensivo												
Haba+ Papa												
Cebada+Papa												
Pasto natural + Papa												
Pasto cultivado + Papa												

4.2.3.3. Cédula de cultivos

Como se observa en el Cuadro 17, el pasto cultivado posee un ciclo anual, se inicia en el mes de enero se desarrolla durante todo el año hasta su primer corte en el mes de noviembre, las fases son : In(Inicio), Des(Desarrollo), Med(Mediados de Temporada) , Mad(Maduración) se hace mención de mezcla forrajera de Pasto azul, trébol blanco otra de las mezclas como el rey grass anual con trébol blanco. La duración del ciclo es de 365 días

La papa es un cultivo de ciclo corto se inicia en la segunda semana del mes de septiembre hasta inicios de febrero las fases son: Br (Brotación), Cr (Crecimiento Vegetativo), Fl (Floración) Tub (Tuberización), Mad (Maduración). La duración del ciclo es de 180 días.

El pasto natural tiene un ciclo anual, se inicia en el mes de enero y realizan el pastoreo por noviembre, las especies que intervienen son el holco y la cebadilla La duración del ciclo es de 365 días

Para el cultivo de la cebada las fases son: Ger (Germinación), Mac (Macollaje), Enc(Formación de Caña), Esp(Espigazón) el inicio de siembra es el mes de octubre y su cosecha es en marzo. La duración del ciclo es de 175 días

En el cultivo del haba las fases son: Ger (Germinación), Cr (Crecimiento Vegetativo), Fl (Floración) y Fr (Fructificación), el inicio de siembra es en el mes octubre y su cosecha es a finales de marzo. La duración del ciclo es de 140 días

Cuadro 17. Duración de las etapas fenológicas de los cultivos predominantes para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014.

CULTIVO BASE	MESES																											(días)	Rotación						
	JUN			JUL			AGO			SEP			OCT			NOV			DIC			ENE			FEB					MAR			ABR		
Semanas	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
PASTO					Med												Mad			In													Des		papa
CULTIVADO				60												120			40													140		360	
PAPA							Br		Cr								Fl	Tub					Mad												habas-pastos cultivados
								30								70		20	20			40												180	
PASTO					Med													Mad		In													Des		papa- haba
NATURAL				60												120			40														140	360	
CEBADA												Ger	Mac				Enc					Esp													papa,haba,fr éjol
													25			30					60						60							175	
HABA												Ger	Cr							Fl	Fr													papa- cebada	
													20							70	20			30											140

Fuente: (INIAP, 2002)

4.2.3.4. Cálculo de la precipitación efectiva

El siguiente módulo en el programa informático CROPWAT es la precipitación efectiva en el cual se ingresó los datos de precipitación obtenidos de la estación meteorológica El Ángel, como se observa en el Cuadro 18 , el mes con mayor precipitación efectiva es noviembre con 97.8 mm y el mes con menor precipitación efectiva es agosto con 23.4 mm, con un total anual de precipitación de 782.4 mm; en la investigación de Montenegro, (1998), reporta la mayor precipitación efectiva para el mes de noviembre con 102.8 mm y la menor precipitación para el mes de agosto con 22.4 mm y una precipitación anual 783.7 mm

Cuadro 18. Precipitación efectiva calculada por el programa CROPWAT que influyen en el bloque 1 y 2 El Ángel, Carchi 2014.

Meses	E	F	M	A	M	J	JI	A	S	O	N	D	Total
Precipitación (mm)	91.9	87.8	104.6	101.4	61.2	38.9	31.2	24.3	38.6	97.7	121.3	117.5	916.4
Precipitación Efectiva (mm)	78.4	75.5	87.1	84.9	55.2	36.5	29.6	23.4	36.2	82.4	97.8	95.4	782.4

Fuente: Cropwat (FAO, 2006)

4.2.3.5. Datos del componente suelo

El análisis para la aplicación del método de riego tecnificado se evalúa con dos parámetros que son la velocidad de infiltración y la lámina almacenable del suelo.

4.2.3.6. Lámina almacenable

Se determinó con la extrapolación de los puntos muestreados de la zona de estudio, como se observa en el Figura 19, y apoyo de los datos de laboratorio del Anexo 6, existen cuatro láminas de almacenamiento en la zona de estudio, con una superficie mayor de 1298.70 ha encontramos una lámina almacenable de 112.41 mm que se interpreta que posee un retención de agua potencialmente media, mientras que la de menor superficie es 468.62 ha con una lámina almacenable de 53.32mm que indica una lámina potencialmente baja, esto confirma , para el bloque 2 se observa la insuficiente capacidad de almacenamiento, mientras que para el bloque 1 es aceptable el almacenamiento del agua en el suelo.

Como menciona (Cadena Navarro, 2012) la lámina almacenable es la cantidad de agua que almacena el suelo, para obtener el máximo rendimiento de los cultivos, no se deberá agotar estos valores hasta llegar al punto de marchitez permanente.

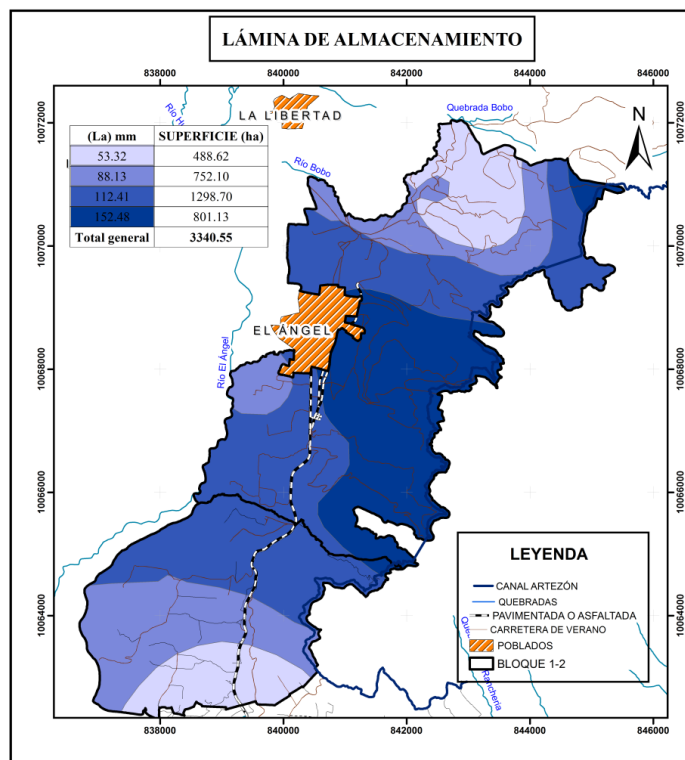


Figura 19. Lámina almacenable para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014.

4.2.3.7. Infiltración

Como se observa en la Figura 20 y Tabla 2, se deduce que los ensayos de infiltración que se encuentran dentro del rango 1 a 5 mm.h⁻¹ y con texturas superficiales que van desde franco a franco arcillosa se denomina infiltración lenta, esto se debe a la falta de aireación del suelo que impide la penetración del agua, si se aplicara el riego por gravedad que la mayoría de agricultores la práctica existe un gran desperdicio de agua, por lo cual el riego por aspersión es el método eficaz.

Para los ensayos de infiltración que corresponde al rango de velocidad de infiltración 5 a 20 mm.h⁻¹ se denomina moderadamente lenta con textura superficial franca, se observa en la Figura 20 que ocupan una menor superficie del polígono de estudio, esta superficie está apta para un riego superficial.

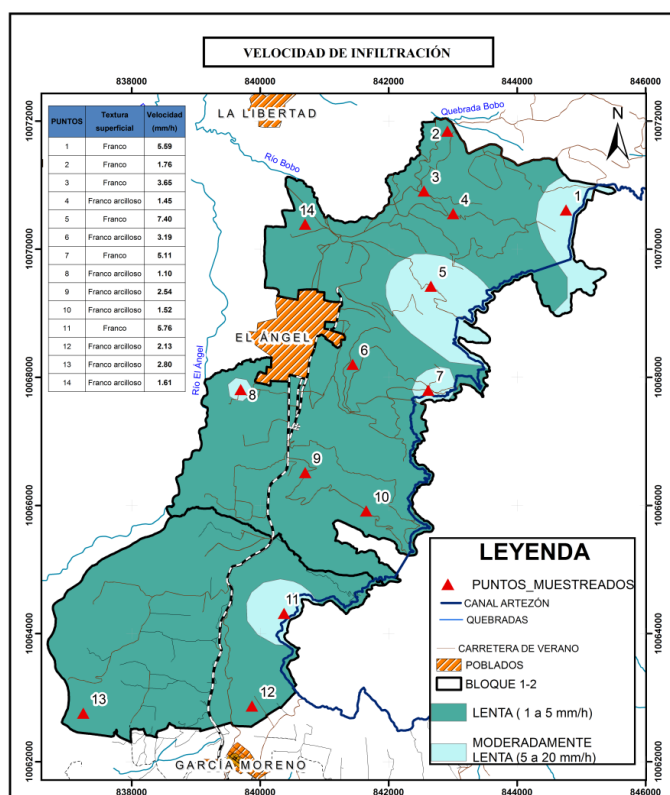


Figura 20. Velocidad de infiltración para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014.

4.2.4. Requerimiento Hídrico

Para el cálculo del requerimiento hídrico intervienen los siguientes valores: la evapotranspiración de cultivo (Etc), Necesidades netas de los cultivos (Nn) y las (Nt) necesidades totales del cultivo, en cada valor se realiza la fórmula que corresponda.

Se inició por determinar el Etc (evapotranspiración del cultivo) que es el resultado de ETo (evapotranspiración de cultivo de referencia) obtenido por el programa CROPWAT multiplicada con Kc (coeficientes de cada cultivo obtenido de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos por FAO).

Cuadro 19.Evapotranspiración del cultivo (Etc) para los bloques 1 y 2 del sistema de riego El Artezón El Ángel, Carchi. 2014.

MESES		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cultivo	ciclo	mm.día-1											
Papa	1	3.5	2.9						1.7	1.9	2.9	3.7	3.8
	2			1.7	2.2	3.3	3.9	3.9	3.4				
Cebada	1	3.8	2.9	1.5							0.5	2.4	3.7
	2				0.5	2.6	3.9	3.8	3.0	1.4			
Haba	1	4.0	4.0								1.8	2.5	3.4
	2				1.7	2.5	3.5	4.1	4.2				
Pasto Cultivado		2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	3.2	3.5	3.7	3.6	3.3	3.0
Pasto Natural		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.7	2.4	2.8	2.9	2.9	2.5	2.7

Los valores que intervienen en la evapotranspiración del cultivo son los que se detalla en el Cuadro 19, para los cultivos de ciclo corto se considera dos ciclos consecutivos en todo año. El primer ciclo es donde existe mayor precipitación, el segundo ciclo donde la precipitación es menor donde la propuesta será oportuna.

Las necesidades netas son la cantidad de agua que pueden disponer las plantas en sus fases de desarrollo, se las determinó sobre la base de la Etc (evapotranspiración de cultivos) menos la Pe (precipitación efectiva calculada por el programa CROPWAT).

Cuadro 20. Requerimiento hídrico de los cultivos para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi. 2014.

Cultivo	Época	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MAX mm.día ⁻¹
Papa	Húmeda	1.11	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.66	0.12	0.31	0.79	1.11
	Normal	0.00	0.00	0.00	0.01	1.6	2.75	3.03	2.26	0.00	0.00	0.00	0.00	3.03
Cebada	Húmeda	1.31	0.46	0.00							0.00	0.06	0.67	1.31
	Normal				0.00	1.11	2.65	2.96	2.28	0.44				2.96
Haba	Húmeda	1.54	1.52								0.00	0.00	0.42	1.54
	Normal				0.00	0.73	2.31	3.20	3.52					3.52
Pasto cultivado		0.2	0.2	0.1	0.07	1.00	1.72	2.33	2.85	2.51	0.96	0.11	0.06	2.85
Pasto natural		0.1	0.10	0	0.01	0.82	1.34	1.68	2.09	1.73	0.20	0.00	0.00	2.09

En el Cuadro 20 se observa, que el cultivo de haba requiere mayor cantidad de agua 3.52 mm.día⁻¹ para el mes de agosto, seguido del cultivo de papa es en el mes de julio con 3.03 mm.día⁻¹ y el cultivo de cebada es el mes de julio con 2.96 mm.día⁻¹, por último, el pasto cultivado el mes de agosto con 2.85 mm.día⁻¹, para el pasto natural el mes de agosto con 2.09 mm.día⁻¹, se distingue en la época normal la menor precipitación.

Las necesidades totales del cultivo es la cantidad de agua en mm.día⁻¹, resulta de la división de RH (requerimiento hídrico) por la Ea(Eficiencia de aplicación), se determinaron promedios para cada método de aplicación como el de aspersión con Ea=80% y el método de gravedad con Ea= 60%.

Cuadro 21. Necesidades totales y caudal característico, por cultivo y método de riego para el sistema de riego Artezón.

Cultivo	Mes máximo consumo	Necesidad total agua cultivos (Nt) mm.día ⁻¹		Caudal característico l.s ⁻¹ .ha ⁻¹	
		ASPERSIÓN Ea=80%	GRAVEDAD Ea=60%	ASPERSIÓN Ea=80%	GRAVEDAD Ea=60%
Papa	julio	3.79	5.06	0.46	0.61
Cebada	julio	3.70	4.94	0.44	0.59
Haba	agosto	4.40	5.87	0.53	0.70
Pasto cultivado	agosto	3.56	4.74	0.43	0.57
Pasto natural	agosto	2.61	3.48	0.31	0.42
Máximo		4.40	5.87	0.53	0.70

Los productores de la zona de estudio, riegan por gravedad con una eficiencia de aplicación aproximada de 60%, esto conlleva al mal uso del agua y pérdidas del 40% en la aplicación. Como se observa en el Cuadro 21 la diferencia de aplicación es evidente en el cultivo de papa que requiere por el método de aspersión de 3.79 mm.día⁻¹ en tanto que para el método de gravedad requiere de 5.06 mm.día⁻¹ es un ahorro de 1.27 mm.día⁻¹.

4.3. Propuesta de distribución técnica de agua

Con los resultados obtenidos de los parámetros técnicos superficie regable, requerimientos hídricos y características físicas del suelo se establece la siguiente propuesta que se basa en la unificación de canales y la distribución del canal principal, secundaria y terciaria con la regulación de agua mediante válvulas sectorizadas.

4.3.1. Unificación de canales

Se unificarán todas las acequias, San Vicente de Baños, San Vicente de Pusir, Cunquer y Chulunguasi como se observa en la Figura 21, en el canal principal denominado sistema de riego Artezón Nueva Vida, en este sitio se establecerá una fuente almacenamiento estable de agua que es la construcción del reservorio, el sitio de ubicación de la fuente es los Encinales, sitio estratégico donde se reúnen las acequias.

La primera fase es el mantenimiento del canal desde la bocatoma de la quebrada los Violines hasta el ingreso del reservorio de regulación, todo este tramo se realizará la limpieza con mingas de los usuarios, ya que en este sitio está la reserva ecológica EL Ángel y se prohíbe el ingreso de maquinaria.

La construcción del reservorio propuesto es la siguiente fase para solventar el déficit hídrico, esta fuente de almacenamiento va a ser regulada según la demanda de los bloques 1 y 2, también se instalarán válvulas en la entrada y salida del reservorio ubicado convenientemente para facilidad de operación para llevar registros de caudales.

En las obras previstas en el reservorio de regulación; una tubería de ingreso, obra de toma, obra de salida y obra de alivio.

El último paso es la implementación del entubado del canal principal, desde el sector Chavayán hasta los tanques de García Moreno una longitud de 40.33 km, donde se evitara pérdidas de conducción y distribución.

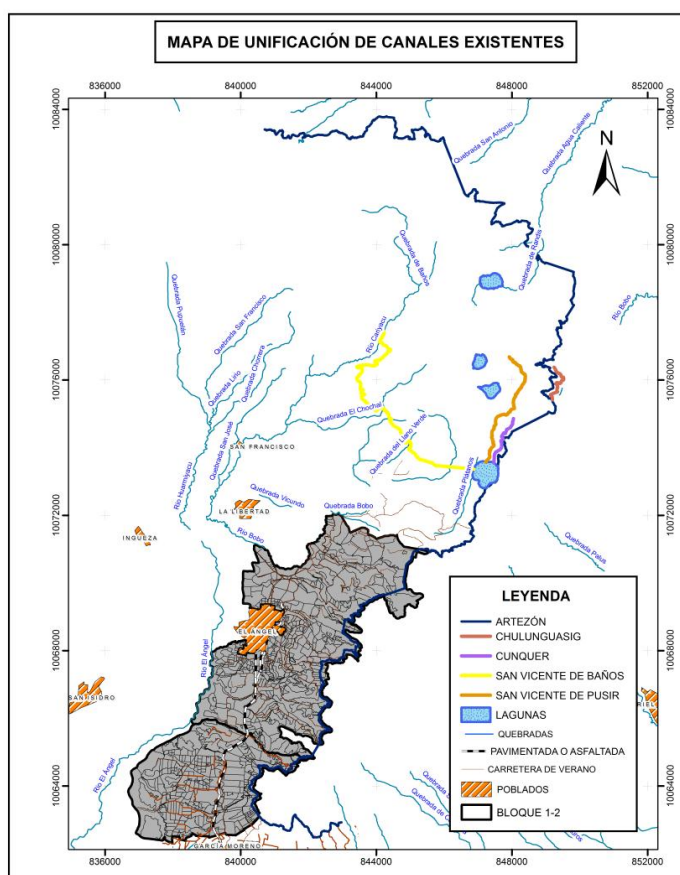


Figura 21. Propuesta de unificación de canales para el proyecto de riego Artezón, El Ángel, Carchi, 2014.

4.3.2. Tierras con fines de riego en el proyecto Artezón

En la determinación de tierras con fines de riego se evaluó las dos variables que influyen en el riego, la pendiente y las características físicas del suelo, el resultado son las clases de tierra los cuales se observa en la Figura 22.

Se analizará con el uso de la tierra desde la clase I hasta la clase IV que es prudente la dotación de riego tecnificado, mientras que para la clase V hasta la VI son zonas que no aplican para el riego por sus pendientes mayores del 40%, estas áreas se las debe preservar con la vegetación natural tratando que disminuya la erosión.

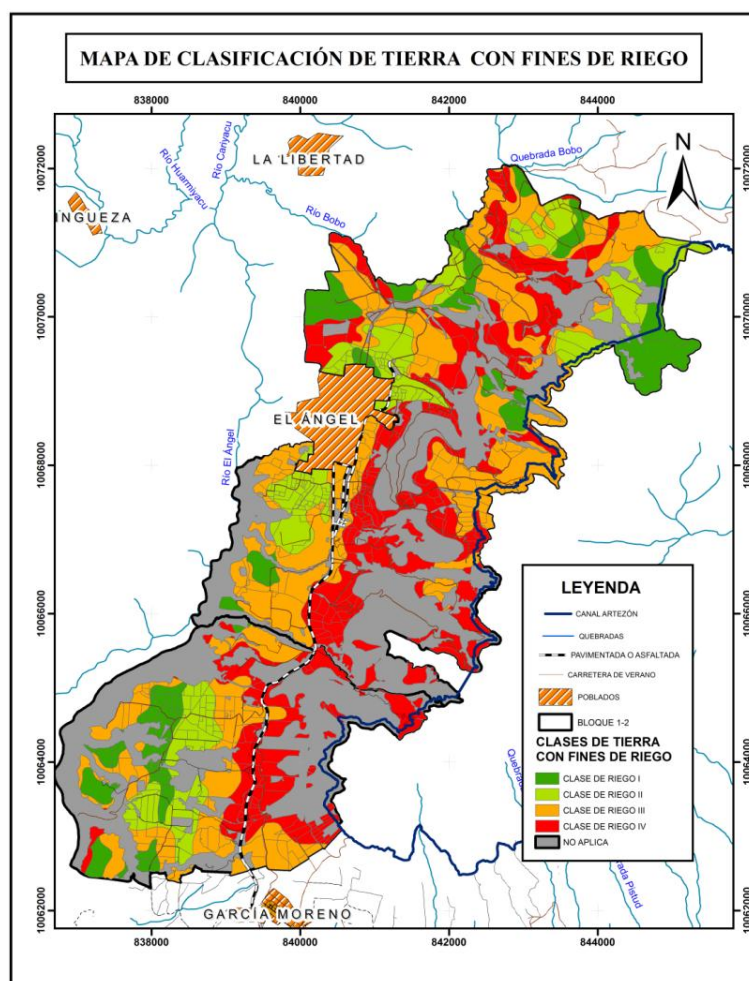


Figura 22. Clasificación de tierras con fines de riego para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego Artezón, El Ángel, Carchi 2014.

La demanda de agua para los cultivos de cada clase de tierra está establecida a continuación:

4.3.2.1. Clase I

Como se observa en el Cuadro 22, la clase I tiene una superficie total de 295.21 ha que se refiere a zonas planas (0 - 5%), la demanda total para esta clase es de 124 l.s⁻¹. Destaca el uso del pasto cultivado con 115.80 ha ubicadas en la parte superior del poblado el Ángel, la demanda de agua del pasto que requiere es de 49.79 l.s⁻¹, seguido del cultivo de cebada que ocupa una superficie de 84,24 ha con una demanda de 37.07 l.s⁻¹

Estos suelos son de textura superficial franca con alto contenido de materia orgánica y una lámina almacenable 157.46 mm. Para esta clase podrán sostener a una familia agrícola y compensar los costos del agua en lo que es operación, mantenimiento con capacidad de pago relativamente alta en el planteamiento de la (FAO, 1990).

Cuadro 22. Demanda de los cultivos para la clase I en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014.

CLASE I			
Cultivo	(ha)	(%)	Caudal requerido l.s ⁻¹
Pasto cultivado	115,80	39,23	49,79
Cebada	84,24	28,54	37,07
Papa	50,14	16,99	23,07
Pasto natural	44,99	15,24	13,95
Barbecho	0,04	0,01	0,02
TOTAL	295,21	100	123,89

4.3.2.2. Clase II

Como se observa en el Cuadro 23, la clase II tiene una superficie total de 340.27 ha que se refiere a pendientes poco pronunciadas (5- 12) %, la demanda total para esta clase es de 150 l.s⁻¹. Destaca el uso del pasto cultivado con 162.86 ha, la demanda de agua es 70 l.s⁻¹, seguido del cultivo de papa que ocupa una superficie de 99.45 ha y una demanda de 45,75 l.s⁻¹.

Estos suelos son de textura superficial franco arcilloso con alto contenido de materia orgánica y una lámina almacenable de 86.32 mm. Para esta clase es un poco más costoso la implementación de regadío por la limitación de cultivos que estos son menos productivos, poseen una capacidad de pago intermedia según la (FAO, 1990).

Cuadro 23. Demanda de los cultivos para la clase II en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014.

CLASE II			
Cultivo	(ha)	(%)	Caudal requerido l.s ⁻¹
Pasto cultivado	162,86	47,86	70,03
Papa	99,45	29,23	45,75
Cebada	70,69	20,77	31,10
Barbecho	3,14	0,92	1,44
Haba	2,42	0,71	1,28
Pasto natural	1,71	0,50	0,53
TOTAL	340,27	100,00	150,14

4.3.2.3. Clase III

Como se observa en el Cuadro 24, la clase III tiene una superficie total de 803.74 ha que se refiere a pendientes pronunciadas medianamente ondulados (12 - 25) %, la demanda total para esta clase es de 356.69 l.s⁻¹. Destaca el uso de pasto cultivado con 430.63 ha, la demanda de agua es 185,17 l.s⁻¹, seguido del cultivo de papa que ocupa una superficie 162.34 ha con una demanda de 74.68 l.s⁻¹.

Estos suelos son de textura superficial franca con alto contenido de materia orgánica y una lámina almacenable de 179.71 mm. Tiene una deficiencia en la característica de topografía de los predios, se debe restringir el manejo en algunos cultivos, el pago de esta clase se la considera admisible según la (FAO 1990).

Cuadro 24. Demanda de los cultivos para la clase III en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014.

CLASE III			
Cultivo	(ha)	(%)	Caudal requerido l.s ⁻¹
Pasto cultivado	430,63	53,58	185,17
Papa	162,34	20,20	74,68
Cebada	145,94	18,16	64,21
Haba	40,14	4,99	21,27
Barbecho	24,68	3,07	11,35
TOTAL	803,74	100,00	356,69

Fuente: Autor

4.3.2.4. Clase IV

En el Cuadro 25, se observa para la clase IV corresponde a una superficie total de 638.06 ha que corresponde pendientes fuertes (25 - 40) %, la demanda total para esta clase es de 284.74 l.s⁻¹, Destaca el uso del cultivo de papa con 246. 89 ha, la demanda de agua es 113.57 l.s⁻¹, seguido del cultivo de pasto cultivado con 237.10 ha, la demanda de agua es de 101.95 l.s⁻¹.

Estos suelos son de textura superficial franca arcillosa con alto contenido de materia orgánica y una lámina almacenable de 116.93 mm .Estas tierras son de aprovechamiento especial para un rango de cultivos y manejo agrícola adecuado por su topografía, la capacidad de pago se restringe a la productividad del cultivo (FAO, 1990).

Cuadro 25. Demanda de los cultivos para la clase IV en el sistema de riego Artezón, bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi 2014.

CLASE IV			
Cultivo	(ha)	(%)	Caudal requerido l.s ⁻¹
Papa	246,89	38,69	113,57
Pasto cultivado	237,10	37,16	101,95
Haba	57,45	9,00	30,45
Cebada	52,38	8,21	23,05
Pasto natural	30,86	4,84	9,57
Barbecho	13,39	2,10	6,16
TOTAL	638,06	100,00	284,74

4.3.3. Demanda del caudal de los cultivos para los bloques 1 y 2

En el Cuadro 26 y Figura 23, se aprecia una área potencialmente regable que ocupa 2077.28 ha con una demanda de caudal general de 915.46 l.s⁻¹.

Con mayor superficie está la clase III con 803.74 ha que corresponde al 38.69%, mientras que la clase I ocupa la menor superficie con 295. 21 ha que corresponde al 14.21%, la demanda de agua tiene una relación directa a la superficie que ocupa, entonces el caudal demandado para la clase III es 356.69 l.s⁻¹ y para la clase I es de 123.89 l.s⁻¹.

En lo que respecta a la clase IV que ocupa el 30.72% del polígono de estudio existe la limitante de erosión que se debe evitar con la reforestación, implementación de viveros, prácticas de conservación del suelo, la clase I,II y III que ocupan 69.28% son superficies aptas para la implementación de un riego por aspersión.

Cuadro 26. Demanda del caudal necesario para los cultivos por clase con fines de riego en sistema del Artezón bloques 1 y 2 Carchi, 2014.

Clase agrícola con fines de riego	Área regada (ha)	%	Caudal característico l.s. ⁻¹
Clase I	295.21	14.21	123.89
Clase II	340.27	16.38	150.14
Clase III	803.74	38.69	356.69
Clase IV	638.06	30.72	284.74
Total general	2077.28	100	915.46

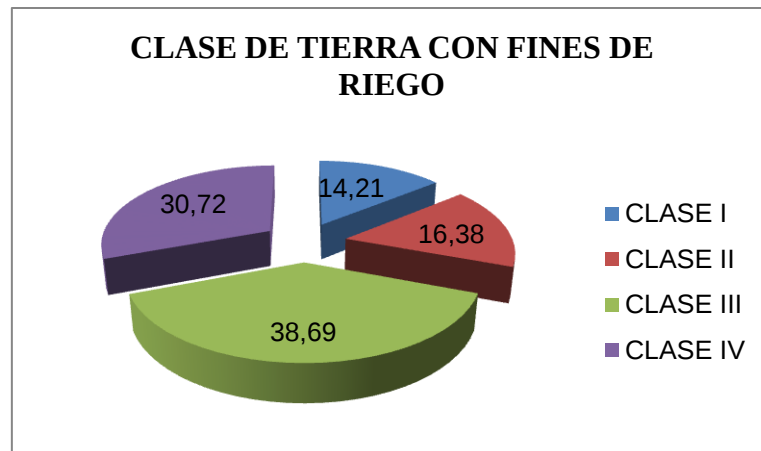


Figura 23. Porcentaje de clases de tierra en el sistema de riego Artezón bloques 1 y 2, El Ángel, Carchi.2014.

4.3.4. Análisis de oferta de caudal en el sistema de riego Artezón

En el Cuadro 27, se aprecia los aforos que se realizó de las acequias que por obras entran al sistema de riego con un total de 1303 l.s⁻¹ esta información fue levantada por la compañía Agroprecisión, este caudal disponible es para todo el proyecto de riego, resaltando que son cinco bloques de todo el sistema de Riego Artezón y se distribuyó mediante la superficie potencialmente regable.

Cuadro 27. Caudal disponible para la unificación de acequias en el sistema riego El Artezón, Carchi 2013.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM			CANAL	LUGAR	CAUDAL	
	X	Y	Z			m ³ .s ⁻¹	l.s ⁻¹
FQP	840720	10083402	3830	Artezón	Q. Piedras	0,280	280,00
FQV	841832	10083161	3799	Artezón	Q. Violines	0,170	170,00
FQSN	847406	10080613	3700	Artezón	Q. S.N.	0,120	120,00
FQR	848761	10079626	3686	Artezón	Q. Randis	0,190	190,00
FA1	178978	10071894	3498	Artezón	Los Pimanes	0,138	137,92
FCH1	178993	10071900	3497	Chulunguasig	Los Pimanes	0,074	74,50
FSVP1	178033	10071428	3415	San Vicente de Pusir	La Rabija	0,174	174,41
FSVB1	177433	10072311	3494	San Vicente de Baños	El Recogedero	0,156	156,30
TOTAL CAUDAL						1,303	1303,12

Fuente: (Agroprecisión, 2013)

Como se observa en el Cuadro 28 existe un caudal general de 1303 l.s⁻¹, del cual le corresponde a los dos bloques en estudio un caudal de 720 l.s⁻¹.

Cuadro 28. Caudal propuesto por superficie en el sistema de riego El Artezón, Carchi 2014.

Sistema de riego	Superficie a regar	Caudal disponible
Artezón	(ha)	l.s ⁻¹
Bloque 1-2	2077.28	720
Bloque 3-4	1466.45	508
Bloque 5	217.44	75
Total	3761.17	1303

Fuente: (Agroprecisión, 2013)

En la determinación del balance hídrico, el dato de la oferta es un caudal de 720 l.s^{-1} , con una demanda en base a los cultivos de 915 l.s^{-1} . Comparando la oferta y la demanda se determina que existe un déficit de agua de 195 l.s^{-1} .

4.3.5. Red de riego con distribución técnica

Se planificó una red de riego con la propuesta de un canal principal entubado, y el diseño de los ramales secundarios y terciarios, que su estructura será entubada, se ha considerado el sistema de riego a implementarse, sea por aspersión a nivel predial.

Para la propuesta de la red de riego en los bloques 1 y 2 se dividieron en sub bloques dada la similitud de características del suelo.

Se propuso 7 sub bloques de riego, cada sub bloque contará con una válvula que permitirá controlar la distribución uniforme de agua en la zonas de riego, se colocarán al inicio de los ramales secundarios.

En la Figura 24, se muestra la distribución de redes de riego propuesta, los sub- bloques que se estableció mediante las variables uso del suelo, pendiente y características físicas del suelo.

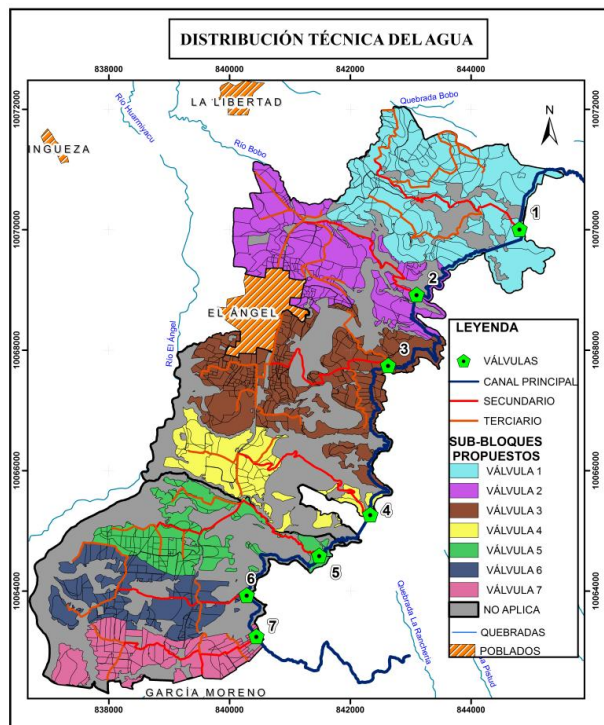


Figura 24. Red técnica de riego para los bloques 1 y 2 en el sistema de riego El Arzón, El Ángel, Carchi. 2014.

4.3.6. Zonas aptas de los cultivos

El cultivo de papa es la principal fuente de ingresos y alimento para los productores de la zona en estudio, y se siembra entre 2600 a 3800 m.s.n.m, con un requerimiento hídrico óptimo de 800 a 1300 mm. Se propone el establecimiento de este cultivo para las zonas de la clase I, II y III con pendientes planas a regular donde es posible una mecanización y explotación técnica. Sin embargo, en las zonas de la clase IV, con pendientes fuertes donde se práctica el método de riego por gravedad es marginalmente óptimo, que quiere decir, si el productor. Establece el cultivo en esta zona es un riesgo por las pérdidas de productividad, además ayudará a el avance de la erosión, debe aplicar técnicas de manejo en terrazas.

En lo que se refiere al pasto cultivado y al pasto natural, está más relacionado con la actividad ganadera y lechera. En el bloque 1 existe más la presencia de pasto cultivado, que quiere decir mezclas forrajeras, mientras que en el bloque 2, donde se maneja el pasto natural, que consiste en la no renovación de pastos se sigue degradando el suelo por el pisoteo del ganado, la propuesta es la implementación del sistema silvopastoril para la conservación, así como capacitación a los agricultores.

Para el cultivo de cebada y haba, la rotación de cultivos que es tradicional es de buena manera aplicada para todas las clases de tierra con fines de riego, como lo menciona la investigación de (Tapia 2000).

Para la clase I, II y III, que ocupan una superficie 1439.22 ha, se propone diversificación de productos con énfasis en cultivos de exportación como amaranto y quinua, la adaptación óptima que requiere se ajusta a la zona (ver Cuadro 3). En lo que respecta al bloque 2 a una altitud de 2900 m.s.n.m., el impulso del amaranto está dentro de las condiciones climáticas y edáficas, para el bloque 1, las limitaciones son en gran parte por los agricultores que se dedican a la ganadería.

En la clase IV, que ocupa una superficie de 638,06 ha, en la zona de estudio se encuentran dentro del rango de pendientes (>25 – 40) % denominadas fuertes y existe una infiltración lenta que se la asocia con riesgos de erosión, al tener una agricultura intensiva favorecerá a que este proceso no tarde. Las medidas para contrarrestar la erosión es mejoramiento de los potreros, renovación cada dos años, con asocio de cultivos, reducir las pérdidas de escorrentía con una cobertura de rastrojo de los cultivos con el objetivo de practicar métodos conservacionistas, y la incorporación de cortinas rompe vientos para reducir la cantidad de evaporación.

5. CONCLUSIONES

En el desarrollo del mapeo de los sistemas de distribución de agua existentes, se encontró cuatro canales principales: Artezón, Cunquer, San Vicente de Pusir y San Vicente de Baños y dos canales secundarios Ishpingo y Chulunguasi. Además, se determinó que su fuente principal es la Quebrada de los Violines. Del análisis de la situación de los canales mencionados, se determinó que se debe realizar un proceso de unificación de estos cuatro canales, que en importantes segmentos de sus tramos, corren en paralelo; lo que permitirá evitar el desgaste de caudal por conducción, pues existirá menor superficie de rozamiento del volumen de agua conducida. El nuevo sistema de conducción propuesto se denominará Artezón- Nueva vida que tiene una longitud total de 71.74 km y se evitará del mantenimiento de los canales Artezón y Cunquer que tiene una longitud de 40 km, la Chulunguasi con una longitud de 24.8 km y la San Vicente de Baños con la de Pusir con una longitud de 39 km.

En el desarrollo del levantamiento predial para el bloque 1 se identificó 408 predios mientras que para el bloque 2 213 predios, con un total de 621 usuarios, se generó una base de datos en la cual consta los usuarios y otras características requeridas para la gestión del sistema.

Al determinar el requerimiento hídrico de los cultivos, se obtuvo que la mayor demanda es del cultivo de haba con 3.52 mm.día^{-1} , seguido del cultivo de papa con 3.03 mm.día^{-1} y el cultivo de cebada con 2.96 mm.día^{-1} . Según Montenegro (1998) en El Ángel reporta un requerimiento de 0.48 mm.día^{-1} en el cultivo de papa, se distingue en la actualidad mayor requerimiento, esto se debe al cambio climático y las diferentes características del suelo que han cambiado al pasar del tiempo.

Se identificó para el método de riego, en el cultivo de papa por gravedad necesita 5.06 mm.día^{-1} y por el método de aspersión la demanda es de 3.79 mm.día^{-1} , se aprecia un desperdicio por el método de gravedad de agua de 1.27 mm.día^{-1} . Por lo expuesto, se plantea la utilización del método de riego por aspersión para los bloques 1 y 2, propuesta que es corroborada en la investigación de Tapia, X. A. (2000) quién expresa que alquilan las maquinarias para suministrar el riego por aspersión en el sector de García Moreno.

Del balance hídrico realizado, se dedujo que para cubrir las necesidades hídricas de toda el área potencialmente regable de los bloques 1 y 2 es necesario un caudal característico de 915.46 l.s^{-1} , el caudal actual obtenido por la compañía Agroprecisión es de 719.71 l.s^{-1} , por lo que habría un déficit hídrico 195.75 l.s^{-1} , se concluye que la oferta de caudal no satisface la demanda de agua.

En la zona de estudio se clasificaron las tierras según su vocación al riego utilizando la clasificación de tierras con fines de riego de la FAO 1990. Las clase I, II, y III, son económicamente factibles de implementar el paquete tecnológico de riego ocupando una superficie de 1439.22 ha, mientras que para la clase IV que ocupa una superficie 638.06 ha existen incrementos económicos por costos de obra de distribución de los canales por tal razón se las denominará provisionalmente regables.

Se propuso un diseño hidráulico, el cual está conformado por siete sub-bloques de riego con sus respectivas redes secundarias, llegando a definir que en el bloque 1, se obtuvo cuatro sub-bloques y en el bloque 2 tres sub-bloques. Esta división se realizó con el objetivo de implantar válvulas regulación y registro del caudal.

6. RECOMENDACIONES

Unificar los cuatro canales principales en un canal común de conducción ya que facilitaría el mantenimiento e incrementará la oferta del caudal en el reservorio propuesto que está en proyección de construcción.

Utilización del catastro de usuarios para la gestión del recurso hídrico, fortaleciendo los criterios de distribución en el aumento de la eficiencia del uso del agua.

Capacitar a los usuarios del canal El Artezón, en la aplicación del método de riego, con el objetivo de humedecimiento que llegue a la profundidad radicular de los cultivos, en base del requerimiento hídrico, pendiente y lámina de almacenamiento del suelo.

Detallar el estudio con una investigación adicional para la clase de riego IV, con las condiciones de rentabilidad económica de los cultivos e implementación de infraestructura de riego.

7. RESUMEN

La investigación se planteó mediante la necesidad de mejorar la producción agrícola implementando un sistema de riego, este proyecto está a cargo del Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia del Carchi, quien contrato los servicios de la compañía consultora privada para conocer la parte potencialmente regable del polígono de estudio con las diferentes capacidades de uso de la tierra para fines de riego adicionalmente otros componentes. Esta investigación está inmersa en los Estudios Complementarios al diseño definitivo de la rehabilitación del sistema de riego El Artezón donde se plantearon los siguientes objetivos: Formular una propuesta de distribución técnica del agua, en base a la demanda de agua; mapear los sistemas de agua existentes; Determinar el requerimiento hídrico de los cultivos.

El ensayo se ubica en la provincia del Carchi en los cantones Espejo y Bolívar, este sistema de riego va a suplementar el área de riego que no realizó el canal Montúfar, para las poblaciones El Ángel y García Moreno, la principal fuente del sistema de riego se viene dando de quebradas naturales y acequias que están dentro de la Reserva ecológica El Ángel a una altitud desde 3818 hasta 2700 msnm.

La metodología empleada está basada en la cartografía, foto interpretación de las imágenes satelitales y metodología participativa, que con lleva a la interacción del investigador con los usuarios del canal de riego, y las entidades influyentes en la zona de estudio.

El ensayo tomo tres lineamientos: Levantamiento de la distribución de aguas existentes, Requerimiento hídrico de los cultivos y la propuesta de distribución técnica del agua de riego.

Levantamiento de la distribución de aguas existentes

Se encontraron cuatro canales principales: El Artezón, Cunquer, San Vicente de Pusir y San Vicente de Baños y dos canales secundarios Chulunguasi y la Ishpingo, en estos canales se realizan obras de captación para un sitio en común denominado los Encinales, cabe mencionar el canal principal Tambo que no consideró en la unificación, la razón es la de mantener el canal en un sistema mixto abierto.

En el inventario del padrón usuarios beneficiados por el sistema de riego constan de los siguientes resultados: en un total general de 621 predios en el cual están compuesto para el bloque 1 de 408 usuarios y en bloque 2 de 213 usuarios, se los agrupo por el tamaño de la superficie que corresponde a los productores grandes, medianos y pequeños.

Requerimiento hídrico de los cultivos

La base del componente es el programa informático CROPWAT donde se evaluaron los componentes de clima, cultivo y suelo que se determinaron de los siguientes resultados:

En el componente clima la (Eto) evapotranspiración del cultivo de referencia promedio es 3.27 mm.día^{-1} , y una precipitación efectiva anual de 782 mm tomando los datos de la estación meteorológica del El Ángel.

En el componente suelos se determinó dos parámetros la velocidad de infiltración y la lámina almacenable del suelo; estas variables se muestrearon con 14 puntos de los cuales se ubicaron mediante una malla para la homogenización de las zonas, los puntos de muestreo reflejan lo siguiente: dos velocidades de infiltración, lenta ($1 \text{ a } 5 \text{ mm.h}^{-1}$) y moderadamente lenta ($5 \text{ a } 20 \text{ mm.h}^{-1}$). Mientras que la zona de alto almacenamiento de agua con 152.48 mm ocupa 801.13 ha se ubica en la parte este del poblado El Ángel, mientras que la zona de bajo almacenamiento con 53.32 mm ocupa 488.62 ha del área total y se ubicó en los extremos norte y sur del poblado El Ángel.

En el componente de cultivos se encontraron un patrón de los cuales son los siguientes: pasto cultivado, pasto natural, papa, haba y cebada, como cultivo de importancia económica es la papa que ocupa una superficie 637.5 ha, donde se comparó los métodos de riego, en el método tradicional de riego por gravedad existe un requerimiento de 5.06 mm.día^{-1} en tanto que por el método de aspersión con un requerimiento de 3.79 mm.día^{-1} , existe un ahorro de agua de 1.27 mm.día^{-1} .

Propuesta de distribución técnica del agua de riego

En la propuesta es primordial identificar el área netamente regable de los bloques 1 y 2, así como el requerimiento hídrico de cultivos por cada clase de tierra, destacando los siguientes resultados:

La zona potencialmente regable del polígono de estudio ocupa una superficie 2077.28 ha, la zonas aptas para la clase I, II y III, ocupa un 69.28%, mientras que para la clase IV ocupa 30.72% en esta clase se restringe la capacidad de riego por su pendiente y características del suelo.

En la determinación del balance hídrico para la zona se encuentra con una oferta de caudal característico determinado por la compañía Agroprecisión de 720 l.s^{-1} la demanda de los cultivos que se obtuvo en la investigación es un caudal característico de 915 l.s^{-1} , existiendo un déficit hídrico de 195 l.s^{-1} .

La importancia de la propuesta radica en unificación de los cuatro canales principales, para la dotación de un riego tecnificado conjuntamente con la construcción del reservorio, esta fuente será regulada mediante los requerimientos para los distintos bloques en el sistema de riego.

En el ensayo se propone 7 subdivisión de los bloques 1 y 2, cada subdivisión contará con su respectiva válvula para administrar a los ramales secundarios y terciarios desde el canal principal.

El estudio afirma la inadecuada distribución del agua de riego por la situación actual encontrada, contrastándola con la propuesta que sigue los parámetros técnicos.

8. SUMMARY

The research was raised by the need to improve agricultural production implementing an irrigation system, this project is in charge of Decentralized Autonomous Government of the province of Carchi, who contract the services of private consulting company to meet the potentially irrigable of the polygon study with the different capacities of land use for irrigation additionally other components. This research is undergoing additional studies to final design for the rehabilitation of the irrigation system The Artezón where the following objectives: Develop a proposal for technical distribution of water, based on the demand for water; map existing water systems; Determine the water needs of crops.

The trial was located in the province of Carchi in the mirror and Bolivar counties, the irrigation system will supplement the irrigation area that do not perform the Montúfar channel for stocks and Angel Garcia Moreno, the main source of irrigation system It has been taking natural streams and canals that are within the Ecological Reserve El Angel at an altitude from 3818-2700 m.

The methodology is based on mapping, photo interpretation of satellite images and participatory approach, which leads to the interaction between the researcher and the irrigation canal users, and influential institutions in the area.

The trial took three guidelines: Rise of the existing water distribution, water requirements of crops and the proposed technical distribution of irrigation water.

Lifting of the existing water distribution

Four main channels were found: The Artezón, Cunquer , San Vicente and San Vicente Pusir Bath and two secondary channels and Ishpingo Chulunguasi in these channels headworks are made for a common site called the Encinales , include channel main Tambo not considered in the unification , the reason is to keep the channel open mixed system.

The inventory of standard users benefit from the irrigation system consists of the following results: a grand total of 621 premises in which they are made for block 1 of 408 users and block 2 213 users, were grouped by the size of the surface corresponding to the large, medium and small producers.

Crop water requirement

The base component is CROPWAT software components where climate, soil cultivation were evaluated and determined that the following results:

In the climate component (Eto) average crop evapotranspiration reference is 3.27 mm.día⁻¹ and an effective annual rainfall of 782 mm taking data from the meteorological station of El Angel.

In part two parameters soil infiltration rate and soil storable sheet was determined; these variables are sampled with 14 points which were located through homogenizing mesh areas, the sampling points reflect the following: two speeds of infiltration, slow (1 to 5 mm.h⁻¹) and moderately slow (5 20 mm.h⁻¹). While the area of high water storage occupies 801.13 152.48 mm is situated in the east of

the town of El Angel, while the storage area under 53.32 mm occupies 488.62 ha area Total and reached the extreme north and south of the town of El Angel.

In component crop pattern which were found are: grass grown, natural grass, potatoes, beans and barley, as growing economic importance is the potato which covers an area 637.5 ha, where irrigation methods compared in the traditional method of irrigation by gravity there is a requirement of 5.06 mm.día^{-1} while the spray method with a requirement of 3.79 mm.día^{-1} , there is a water saving of 1.27 mm.día^{-1} .

Proposal for technical distribution of irrigation water

The proposal is paramount clearly identify the irrigable area of the blocks 1 and 2 as well as the crop water requirement for each class of land, highlighting the following results:

The potentially irrigable area of the circle of study covers an area 2077.28 ha, the areas suitable for Class I, II and III, holds a 69.28 %, while for class IV occupies 30.72 % in this class irrigation capacity is restricted by its slope and soil characteristics.

In determining the water balance for the area is a range of typical flow rate determined by the company Agroprecisión 720 ls^{-1} demand for crops that were obtained in the investigation is a characteristic flow rate of 915 ls^{-1} , there being a water deficit of 195 ls^{-1} .

The importance of the proposal lies in unification of the four main channels for the provision of an irrigation technology in conjunction with the construction of the reservoir, this source will be regulated by the requirements for the various blocks in the irrigation system.

In test 7 subdivision of the blocks 1 and 2 , each subdivision will have its respective valve to deliver to the secondary and tertiary branches from the main channel is proposed.

The study says the inadequate distribution of irrigation water by the current situation found, contrasting with the proposal following technical parameters.

9. REFERENCIA

Agropecuarios. (07/06/2014). *Sistemas de riego por gravedad o inundación*. Disponible en URL:<http://agropecuarios.net/sistemas-de-riego-por-gravedad-o-inundacion.html> [consulta 18 de diciembre de 2015]

Agroprecisión. (2013). *Estudios complementarios del diseño definitivo de la rehabilitación del sistema de riego El Artezón*. Quito, Ecuador: Autor.

Almorox, J. (2010). *Evapotranspiración Potencial Según Thornthwaite*. Métodos de estimación de las evapotranspiraciones ETP y ETr. Disponible en URL: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EPHUES/2014/13291/TAZ-PFC-2014-002.pdf> [consulta 18 de diciembre de 2015]

Ambientum. (2015). *Sistema de riego*. Disponible en URL: http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/Sistemas_de_riego.asp# [consulta 18 de diciembre de 2015]

Apollin, & FEberharth, C. (1998). *Metodologías de análisis y diagnóstico de Sistemas de riego campesino*. Quito, Ecuador: CAMAREN.

Avellaneda, E. D. (2004). *Evaluación del Uso del Agua en los sistemas de producción a nivel de fincas en la zona baja margen izquierda de la cuenca del río EL Ángel*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ing. Agr. Quito: Universidad Central Del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.

Bibiana Bilbao. (2002). *Sistemas climáticos*. Disponible en URL: http://www.academia.edu/5098940/III-SISTEMAS_CLIM%C3%81TICOS [consulta 18 de diciembre de 2015]

Burgcom. (2014). *Sistema de riego tecnificado*. Disponible en URL: http://www.burgcomperu.com/sistemas_de_riego_tecnificado.html [consulta 18 de diciembre de 2015]

Cadena Navarro, V. (2012). *Hablemos de riego*; Relación suelo agua, Relación agua planta clima, Programación de riego. Calidad de agua de riego. Medidores de caudal. Sistemas de riego. Carchi, Ecuador: s.n.

Calvache, M. (2012). *Fundamentos del Riego*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

Camaren. (2005). *Riego*. Guía metodológica de inventarios de los recursos hídricos. Disponible URL: <http://www.asocam.org/biblioteca/files/original/c1f2f467c04e2d405cc0de3747e66042.pdf> [consulta 18 de diciembre de 2015]

_____. (2013). *Foro de los recursos hídricos*. Disponible URL: <http://www.camaren.org/planes-provinciales-de-riego/> [consulta 18 de diciembre de 2015]

Cap-net. (2005). *Planes de gestión integrada*. Manual de capacitación. Disponible en URL: http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/Manual%20Planes%20GIRH.pdf [consulta 18 de diciembre de 2015]

Contreras, J (2014). *Sistema para el diseño agronómico de riego en plataforma SIG* en el Dr 001 pabellón Arteaga, Estado de Aguas calientes. Trabajo de Grado presentado como requisito para optar Maestro en Ciencias. México 2014. Colegio de Postgraduados. Montecillo

Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la Materia de Riego y Drenaje*. México.

Del Bosque, I. (2004). *Aplicaciones a la Cartografía Temática*. III Curso de proceso digital de Imágenes de satélite, 5.

Dirección de recursos hídricos y gestión ambiental Tungurahua. (2015). *Tecnificación del Riego*, GAD de Tungurahua. Disponible URL: <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/programas/ver/523c717bbd92ea3817000001>[consulta 18 de diciembre de 2015]

Ecuared. (2015). *Sistema de Riego. Agronomía*. Disponible en URL: http://www.ecured.cu/index.php/Sistema_de_Riego[consulta 18 de diciembre de 2015]

FAO. (1990). Evaluación de tierras para la agricultura en regadío. Organización de Alimentación, Dirección de fomento de Tierras y Aguas (págs. 137-139). Roma.

_____(1992). *Depósitos de documentos de la FAO*. Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura. Disponible en URL: <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0446S/T0446S00.HTM>[consulta 18 de diciembre de 2015]

_____(2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación del suelo*. Roma.

_____. (2003). *Manual de Curso de Análisis Espacial Arcview 8.2*. Dirección de fomento de Tierras y Aguas Roma.

_____(2006). *Evapotranspiración del cultivo*. En FAO, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (pág. 7). Roma.

_____. (2007). *Manual Cropwat 8.0*. Disponible URL: <http://es.scribd.com/doc/61197379/Cropwat-8-0-manual-en-espanol>[consulta 18 de diciembre de 2015]

_____. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la Alimentación y la agricultura*. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, y Mundi-Prensa, Madrid.

Fernández, S., & Del Río, J. P. (2011). *Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento Territorial*. La Plata: Buenos Aires.

Fierro, D. (2008). *Estudio de distribución técnica del agua, del ramal Alangasí - La Merced*. Quito. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ing. Agr. Quito: Universidad Central Del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.

Fuertes, H. (2014). *Información provincial*. Dirección de Recursos Hídricos. Disponible en URL: <http://www.carchi.gob.ec/index.php/informacion-cantonal/canton-mira/item/223direcci%C3%B3n-de-recursos-h%C3%ADdricos>[consulta 18 de diciembre de 2015]

GAD (Dirección de Recursos Hídricos del Carchi). (2009). *Sistema de Riego Artezón FASE II*. Tulcan: Sin publicar.

González, J. (2013). *Precipitación*. Climatología, Italsan. Rainplus. Disponible en URL: <http://hidrografiayprocesos.galeon.com/precipitar.htm> [consulta 18 de diciembre de 2015]

Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. Disponible en URL : https://books.google.com.ec/books?id=rfx9YVVKQnsC&pg=PA235&lpg=PA235&dq=sistemas+de+conducci%C3%B3n+el+el+riego&source=bl&ots=NGVWBt5Jb2&sig=t64nXRM_gS1ZozNJMSCWNvYvOvw&hl=es&sa=X&ved=0CBsQ6AEwADgKahUKEwj5ts7O1ePGAhUillogKHSR_At#v=onepage&q=sistemas%20de%20 [consulta 18 de diciembre de 2015]

Haro, L. (2012). *Optimización del uso del recurso hídrico del sistema*. Ibarra ,2010.

Huanca, R. A. (2014). Construcción sistema de riego por aspersión Huayrapata. Disponible en URL: <https://es.scribd.com/doc/97259087/6/CLASIFICACION-DE-LAS-TIERRAS-SEGUN-SU-APTITUD-PARA-RIEGO> [consulta 18 de diciembre de 2015]

INDAP, M. (2011). *Manual básico para la capacitación en gestión de recursos hídricos*. En Ministerio de Agricultura, Manual básico para la capacitación en gestión de recursos hídricos (págs. 11-15). Santiago de Chile.

INERHI. (1979). *Plan de desarrollo regional I*. Disponible en URL: <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea60s/oea60s.pdf> [consulta 11 de noviembre del 2013]

INIAP. (2002). *El Cultivo de la papa en el Ecuador*. Disponible en URL: http://www.eseap.cipotato.org/PSP-ICM-TR/Articles/Potato/Spanish/Papa_en_Ecuador.pdf [consulta 18 de diciembre de 2015]

Lagarda, I. (2006 - 2009). *Catastro*. México D.F. Porrúa.sn.

Lapo, C. (2012). *Diseño óptimo de sistemas de riego a presión y su eficiencia hidro-energética*. (pág. 33). Valencia: España.

Lesur, L. (2006). Manual de riego agrícola.

Losada, V. (2005). *El Riego*. En Fundamentos de su hidrología y de su práctica (págs. 59 - 66). Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa.

Luzuriaga, C. (2005). *Curso de Edafología General*. Fundamentos de Suelo Quito: Politécnica Escuela Superior Politécnica del Ejército, Quito-Ecuador.

MAGAP (2008-2010). Metodología Levantamiento Catastral y Legalización de la Tenencia de la Tierra. Quito: César Echezuría.

_____. (2012). *Geoportal*. Disponible en URL: http://geoportal.magap.gob.ec/mapas/carchi/mapa_suelos_pendientes_carchi.pdf [consulta 8 de septiembre del 2014]

Maldonado, T. (2008). Módulo 7 : *Sistema de Riego* . Loja - Ecuador.

Martínez, M. (2000). *Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario*. Universidad de Castilla.

Martínez, J. M. (2012). Diagnóstico del inventario de recurso hídrico en la provincia de Azuay . Ecuador -Cuenca.2010

Montenegro, M. (1998). *Estudio sobre el uso, manejo y distribución de agua para riego y consumo humano*. Demanda de agua requerida por los cultivos de la cuenca del rio El Ángel. Quito, Ecuador: s.n.

PRONAREG-ORSTOM. (1978B 1985). Cartografía de los suelos de la de la República del Ecuador 1/200 000. Quito: Colmet-Daage

Quispe, R. (2011). Curso de Irrigaciones Calameo. Disponible en URL: <http://es.calameo.com/books/0029841998e335782f876>[consulta 18 de diciembre de 2015]

Rodriguez, R. M., Capa, A., & Lozano, A. (2004). Meteorología y Climatología. En Meteorología y Climatología (págs. 12,). Madrid: FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología).

Sánchez, R. A. (2003). *Optimización del Diseño y Gestión de redes colectivas de distribución de Agua para Riego por Goteo de Cultivos Leñosos Aplicación Al Regadío de Mula (Murcia)*. Murcia: s.n.

Santos, L. P. (2010). *El Riego y sus tecnologías*. Albacete: s.n.

Sarría, F. A. (2014). *SIG y Teledetección. Obtenido de Sistemas de Gestión de Bases de datos y SIG*: disponible en URL: http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_9.pdf[consulta 18 de diciembre de 2015]

SENAGUA. (2009). Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador. Quito: Autor.

SICA (2004). Disponible en URL: <http://www.agroecuador.com/HTML/agroclimatico/agrocolimaticoFeb2004.pdf>[consulta 18 de diciembre de 2015]

SIGAGRO. (2010). Disponible en URL: http://app.sni.gob.ec/snlink/sni/RESPALDOS/INFO%20FRONTERA_ZONA1/5.INFORMACION_GPI/Documentos%20Metodol%C3%B3gicos/Metodolog%C3%ADa%20Clima%20Hidrolog%C3%ADa%20Amenazas.pdf[consulta 18 de diciembre de 2015]

Tapia, X. A. (2000). *Evaluación del uso del agua en los sistemas de producción a nivel de fincas en la zona media del margen izquierdo de la cuenca del Río el Ángel - Carchi*. Quito: Autor.

Umaña, E. (2002). Manejo de Cuencas Hidrográficas y protección de fuentes de Agua. Disponible en URL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf> [consulta 18 de diciembre de 2015]

UNEP (2014). *Recurso Hídrico*. Disponible en URL: <http://www.unep.org/GC/GCSS-VIII/Chile-s.pdf>[consulta 18 de diciembre de 2015]

Valverde, J. C. (1998). *Riego y Drenaje*. San José: Universidad Estatal a Distancia San José.

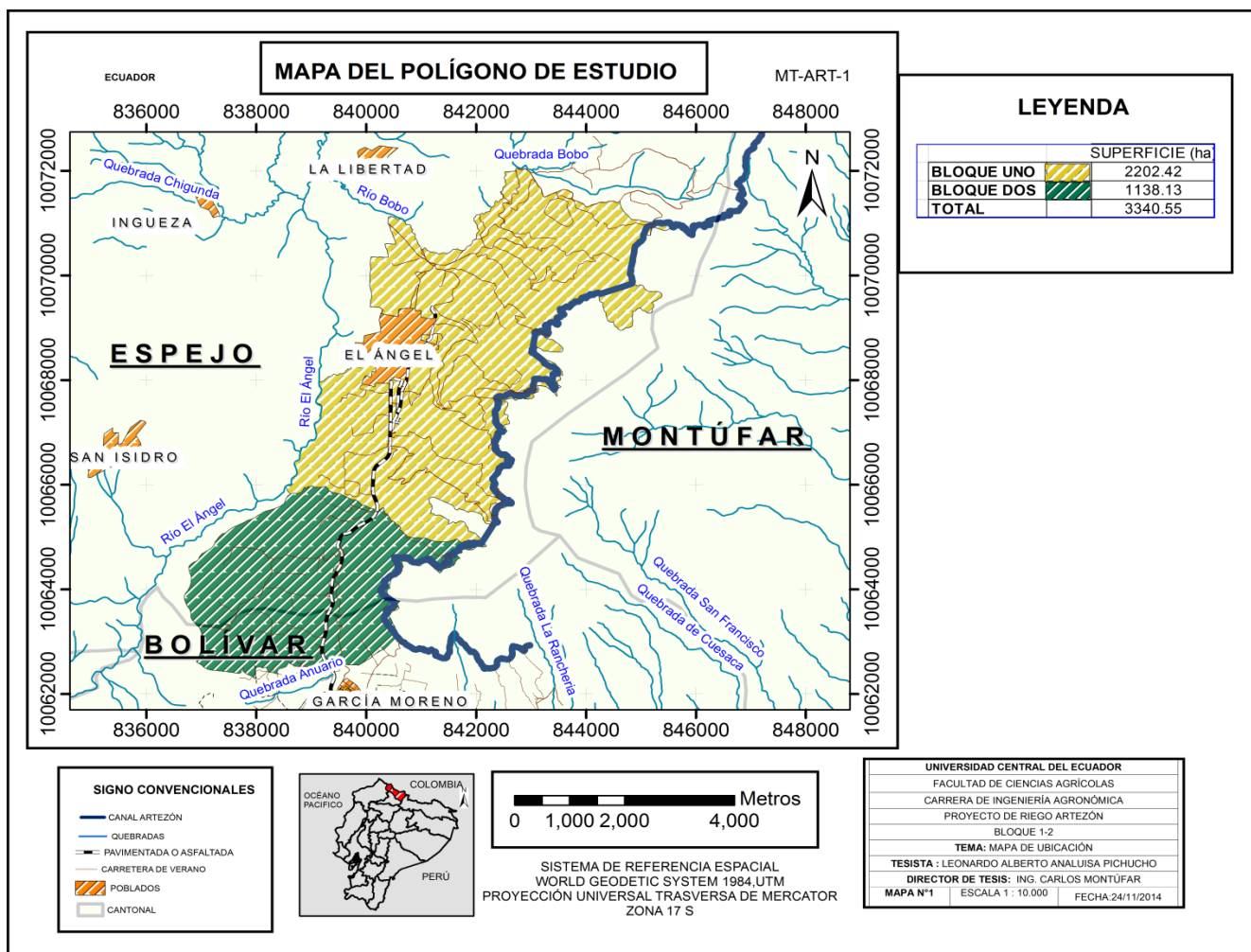
Velásquez, H. (2007). *Identificación de suelos susceptibles a riesgo de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento de agua*. Disponible en URL: http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012028122007000300002&lng=es&nrm=[consulta 18 de diciembre de 2015]

Yandun, R. (2009). *Plan de desarrollo provincial Carchi*. Disponible en URL: http://app.sni.gob.ec/snlink/sni/RESPALDOS/RESAPALDOS%20DISCO%20EX/R_COMPAS/FVALDEZ/Guias%20de%20POT/carchi/plan.pdf [consulta 18 de diciembre de 2015]

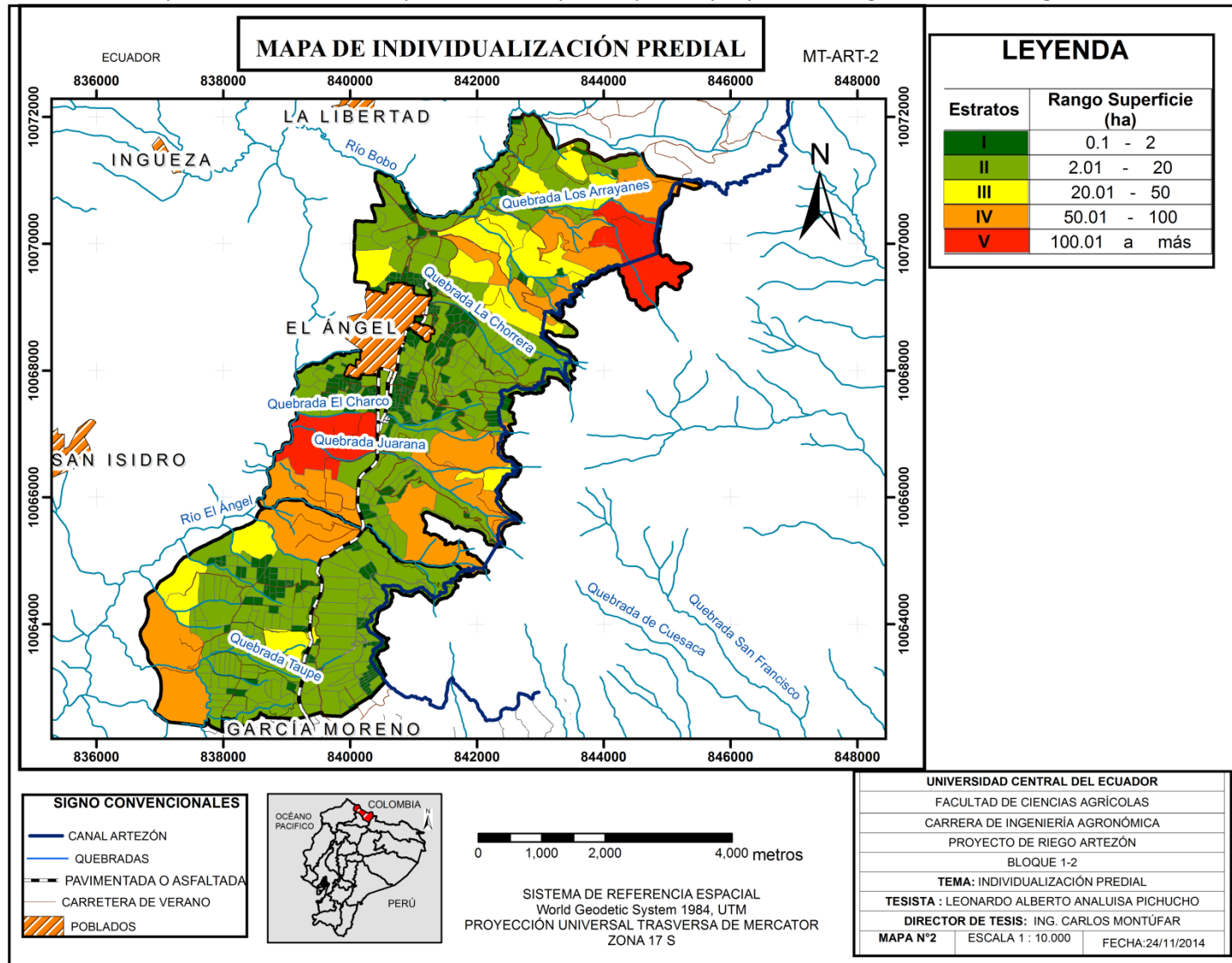
Zapata, A. (2004). *Elementos para un modelo alternativo de gestión pública de riego*. Ecuador: Foro de Los Recursos: Tercer

10. ANEXOS

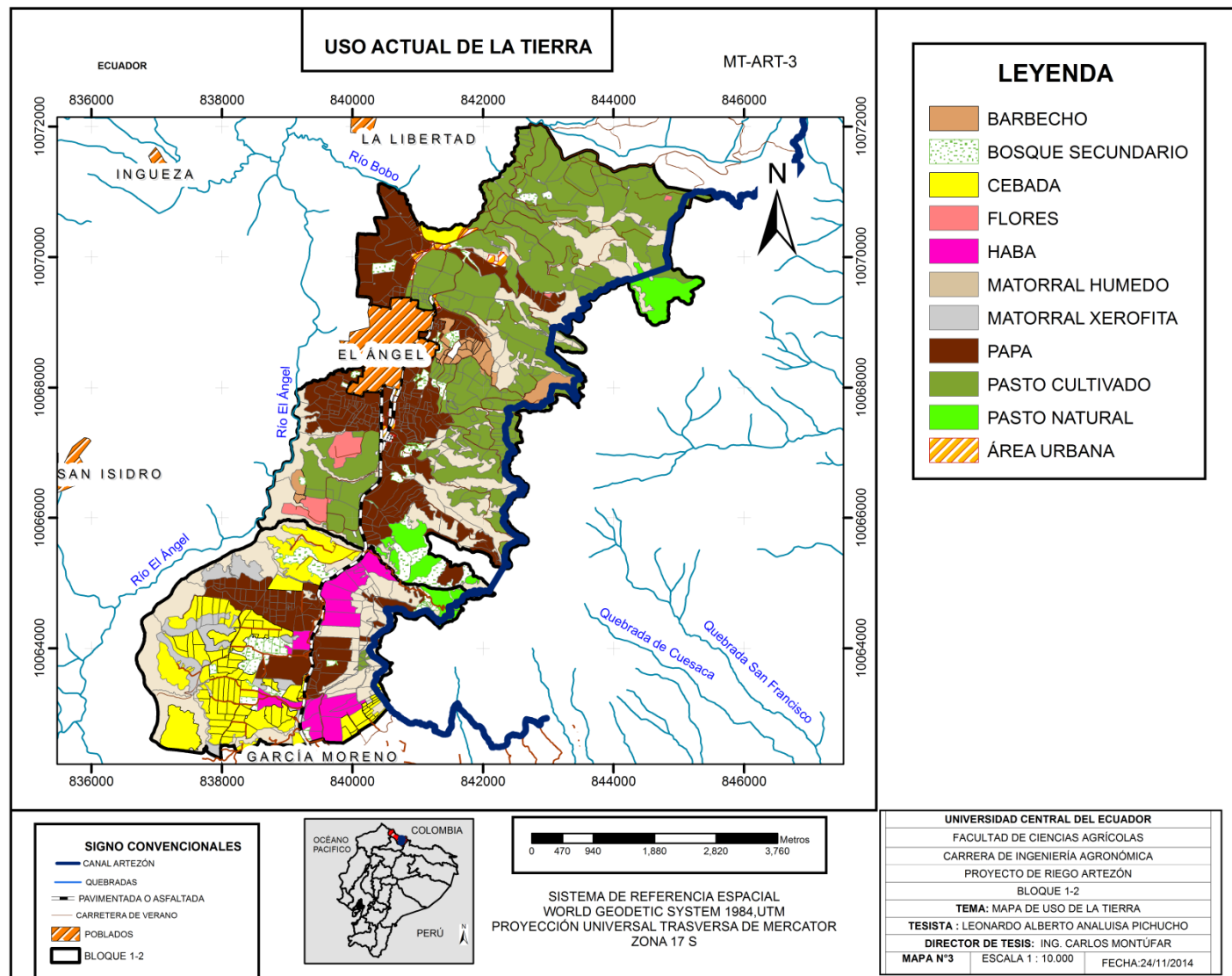
Anexo 1. Mapa del polígono de estudio del bloque 1-2 para el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014.



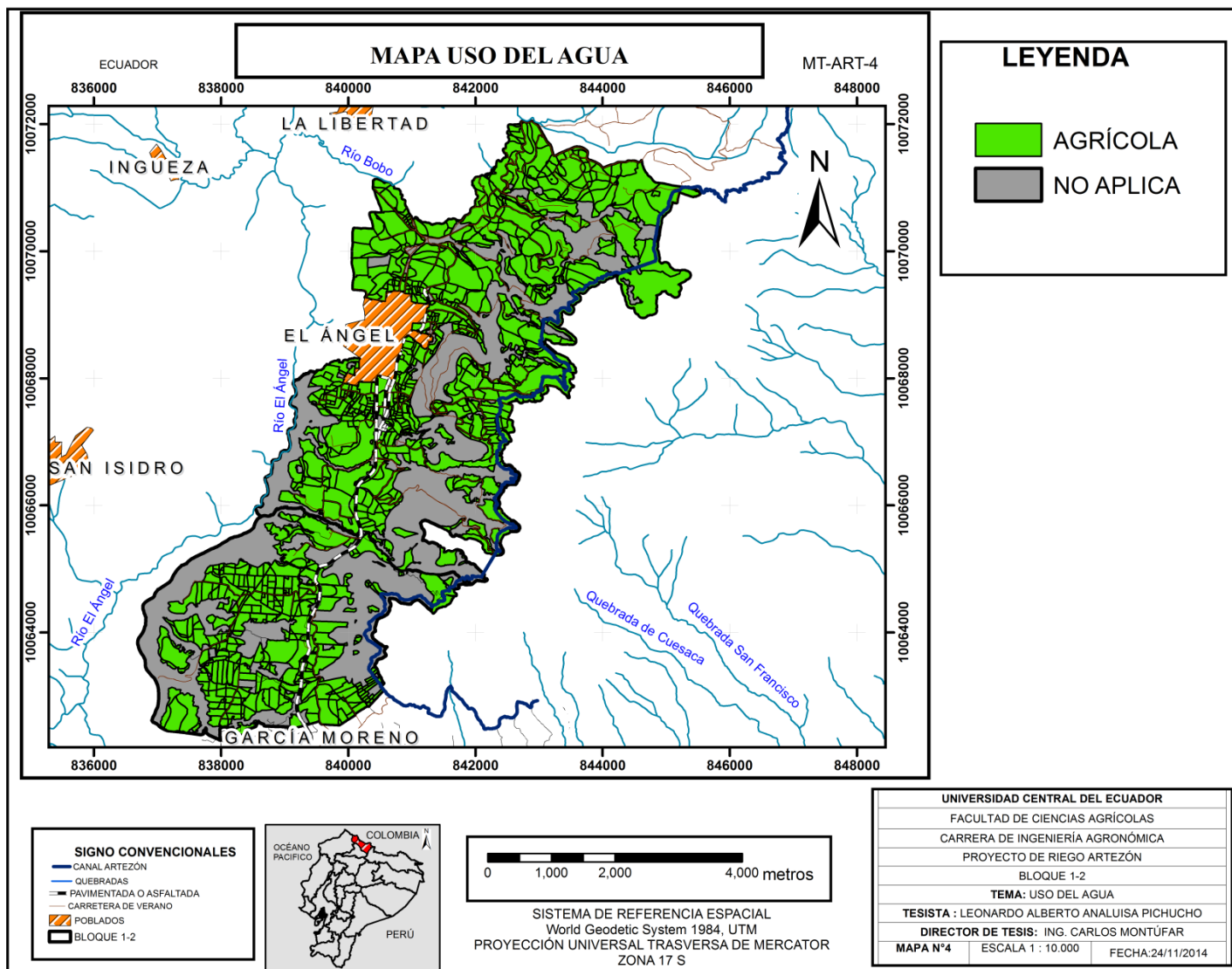
Anexo 2. Mapa de individualización predial del bloque 1-2 para el proyecto de riego Artezón, El Ángel, Carchi. 2014.



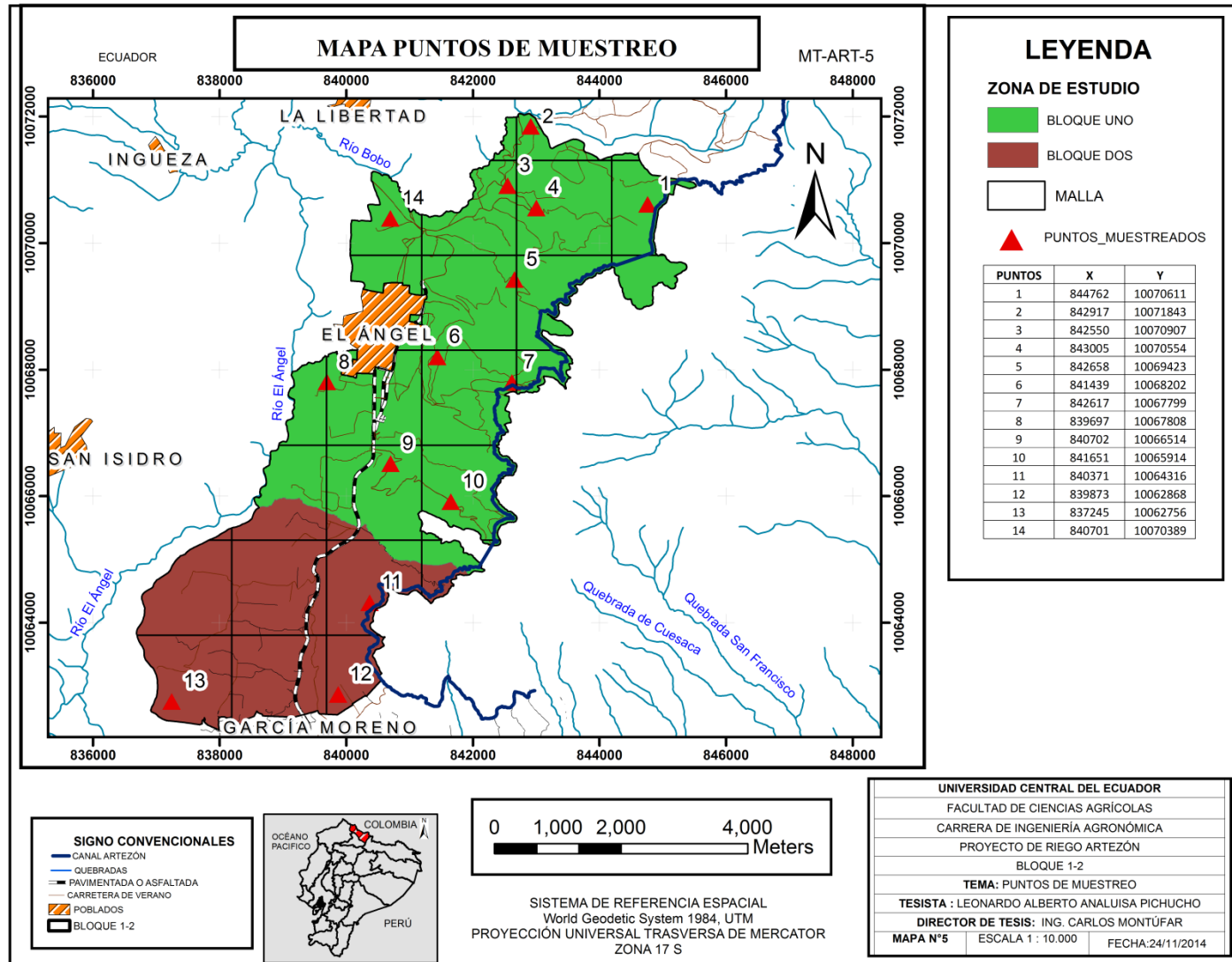
Anexo 3. Mapa de uso y cobertura de la tierra del bloque 1-2 para el proyecto de riego Artezón. El Ángel, Carchi.2014.



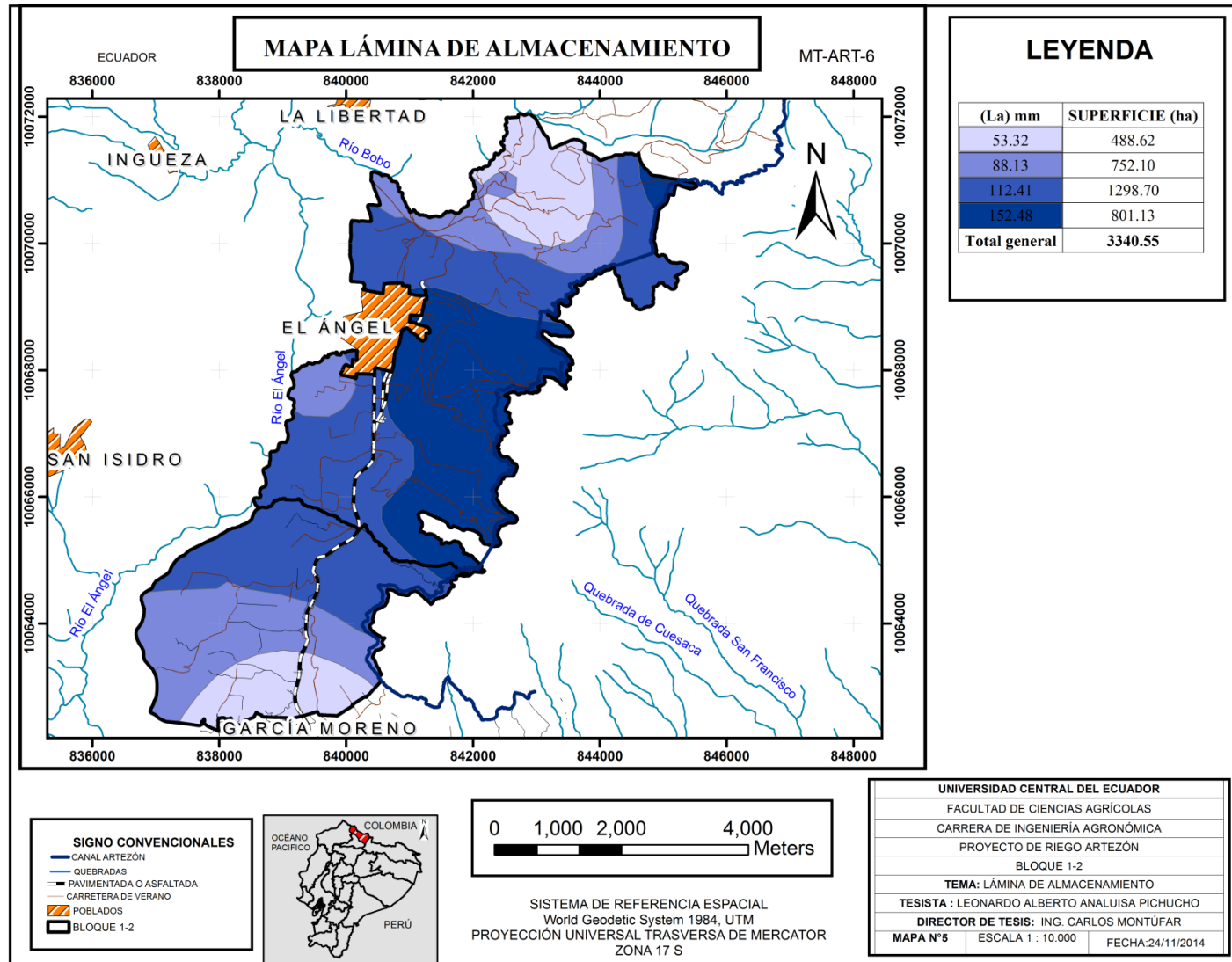
Anexo 4. Mapa uso del agua para el bloque 1-2 en el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014.



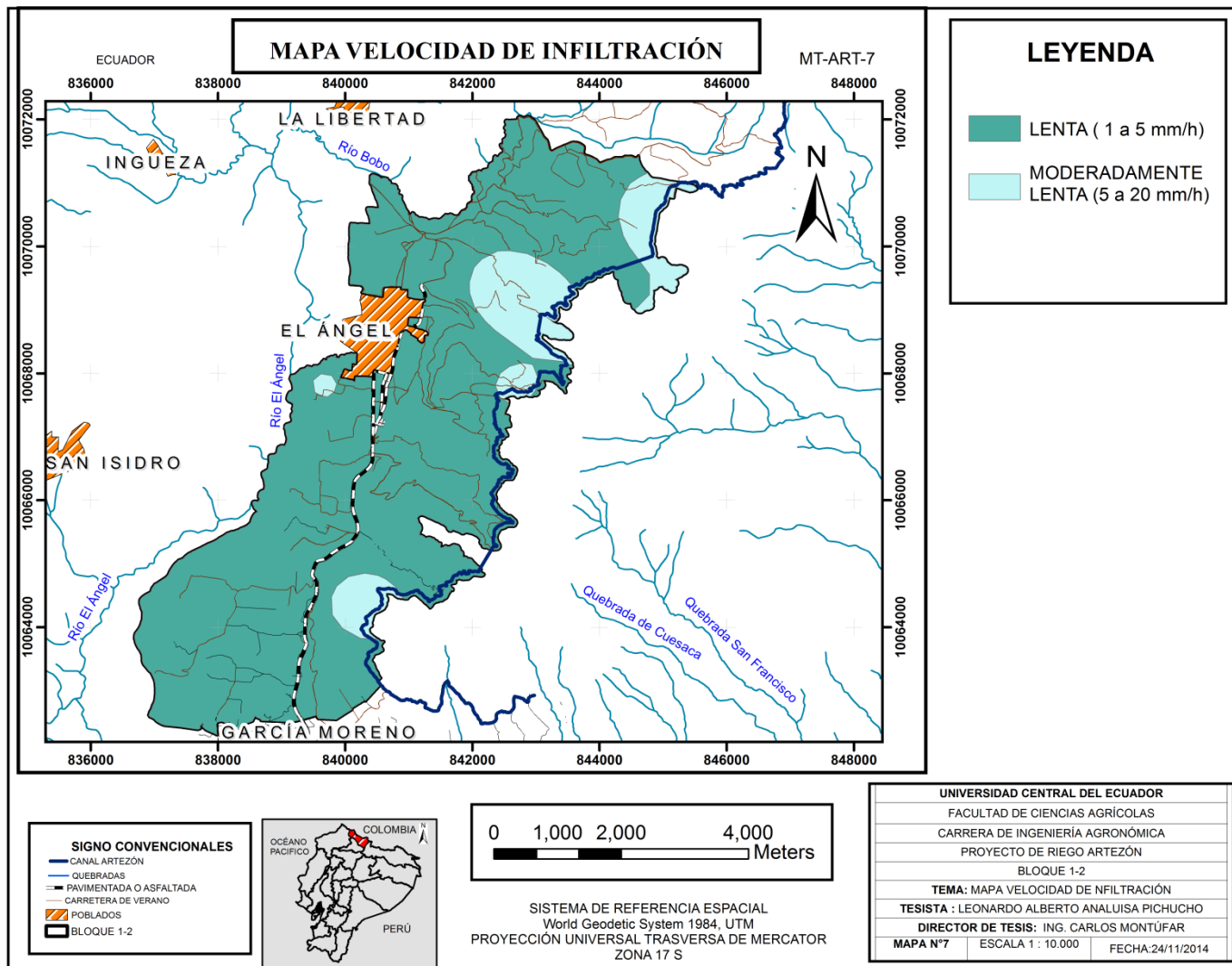
Anexo 5. Mapa de puntos de muestro del bloque 1-2 para el proyecto riego Artezón. El Ángel, Carchi. 2014



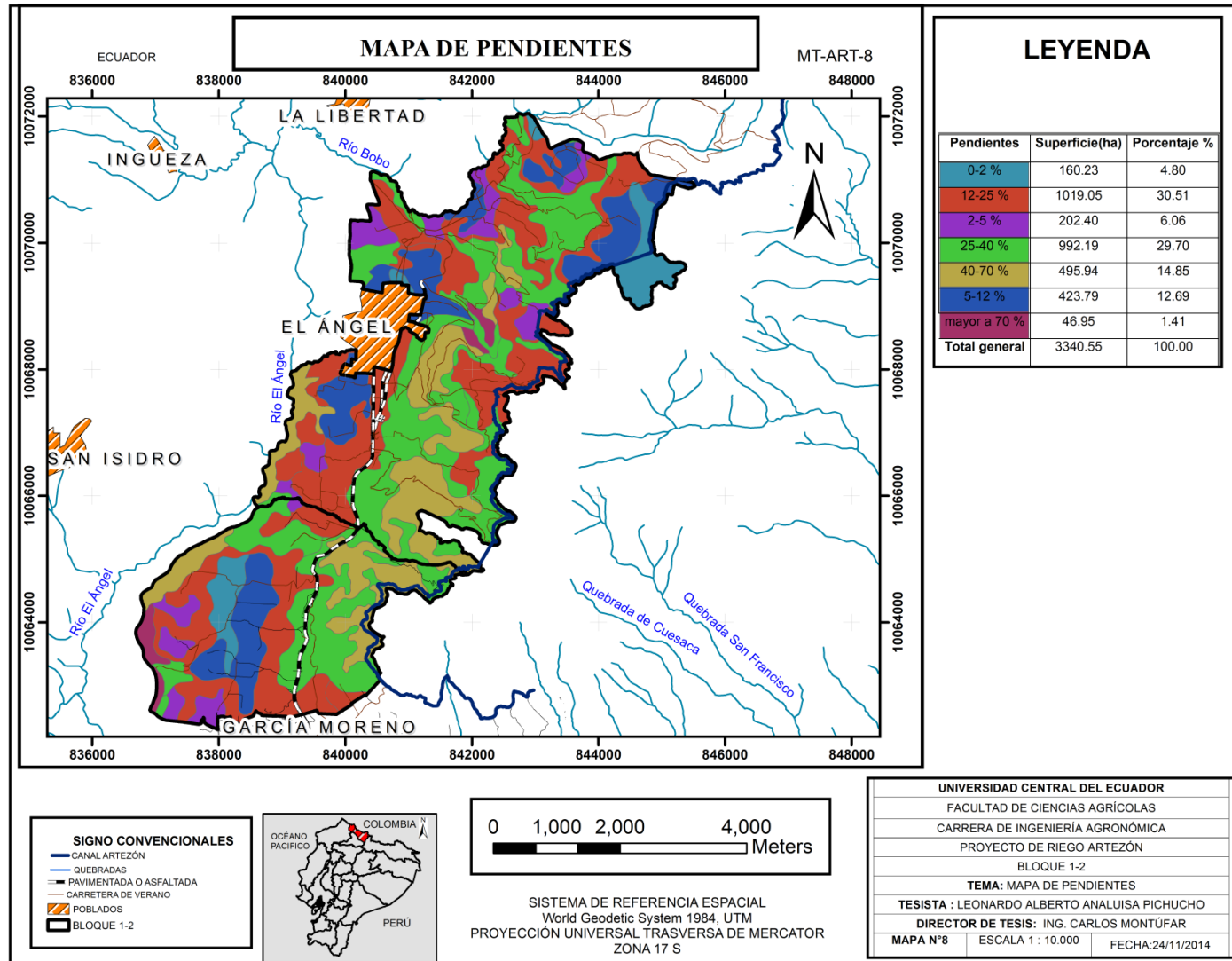
Anexo 6. Mapa de lámina de almacenamiento del bloque 1-2 para el proyecto riego Artezón. El Ángel, Carchi. 2014



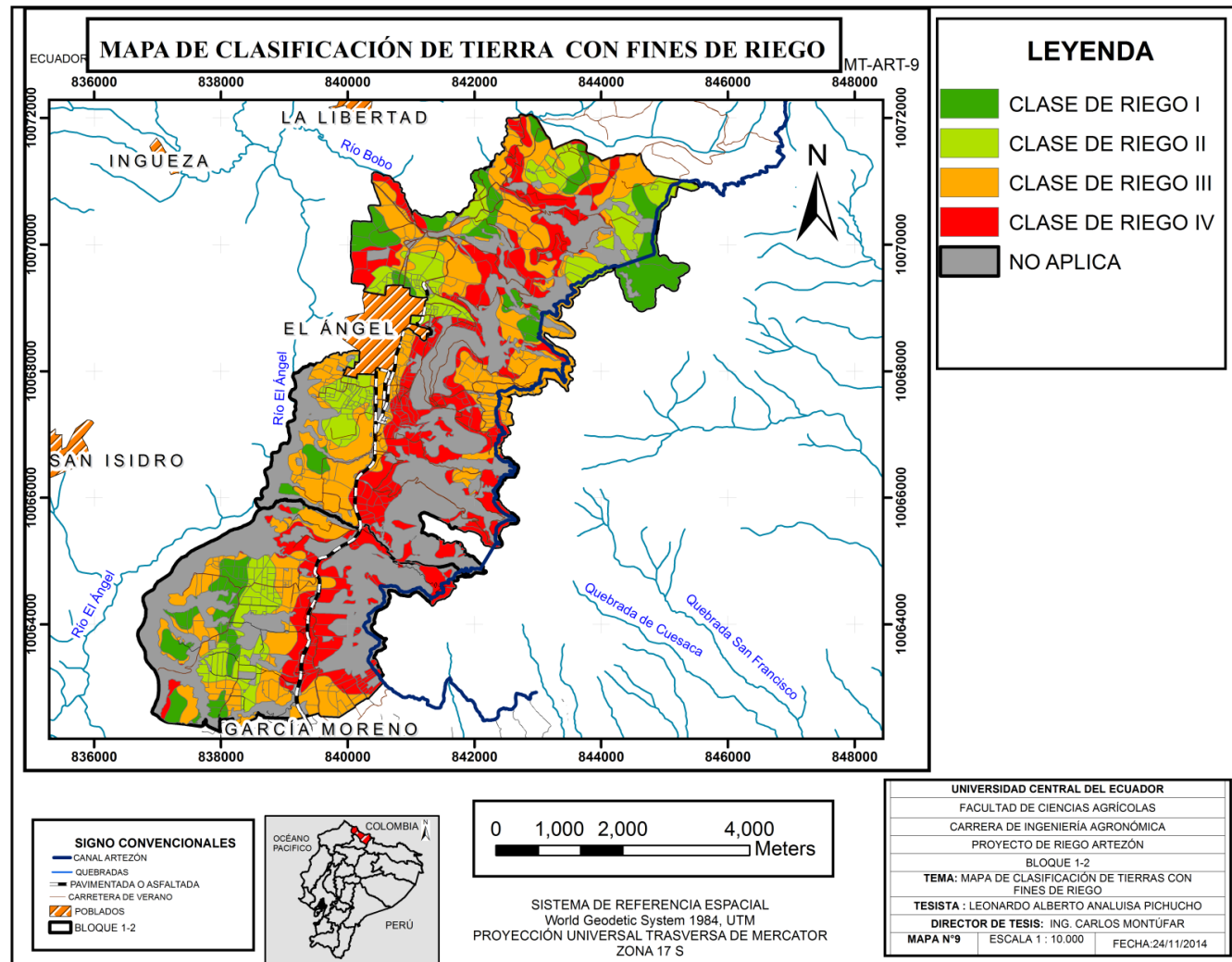
Anexo 7. Mapa velocidad de infiltración del bloque 1-2 para el proyecto riego Artezón. El Ángel, Carchi. 2014.



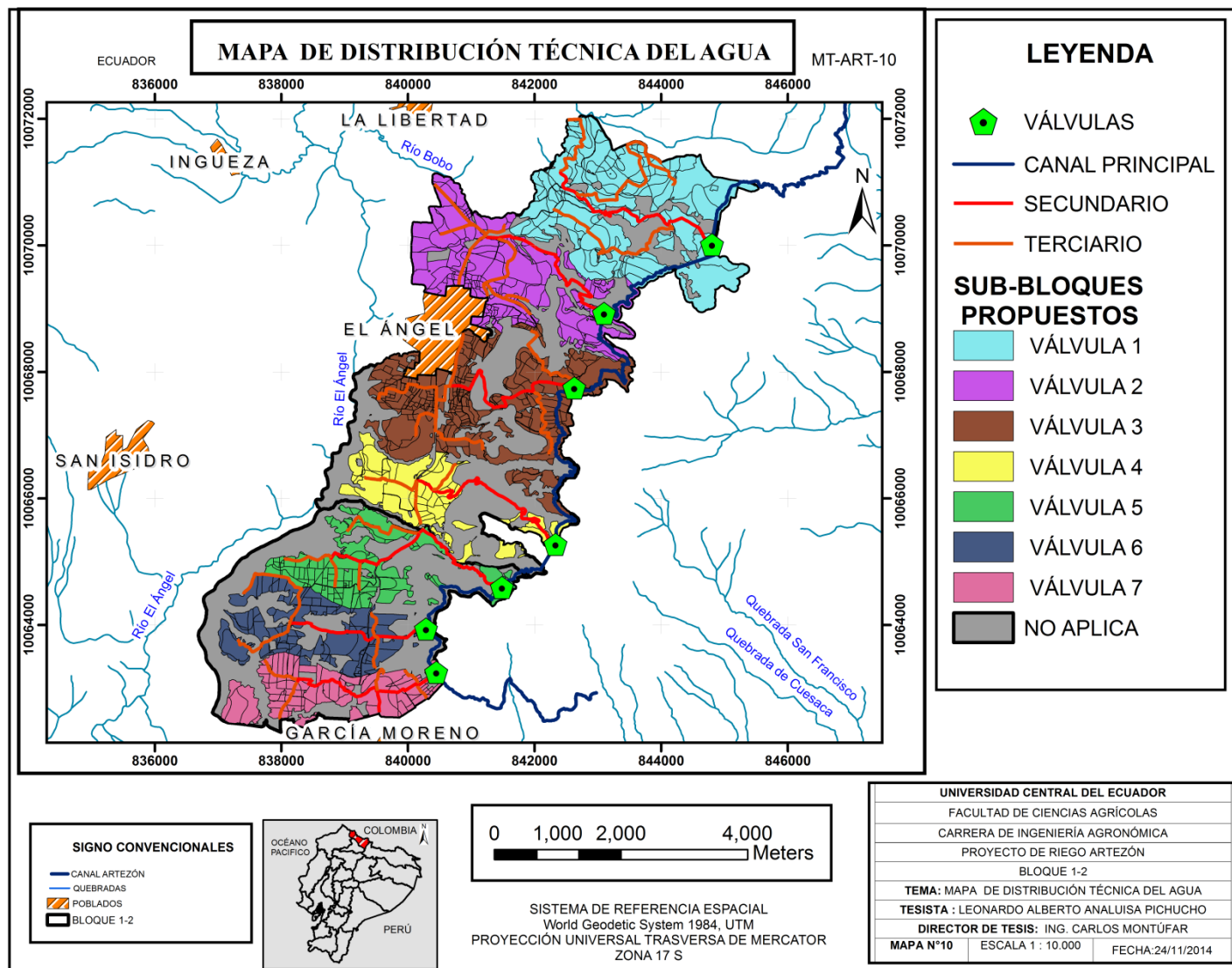
Anexo 8. Mapa de pendientes del bloque 1 y 2, para el proyecto de riego Artezón. El Ángel, Carchi.2014.



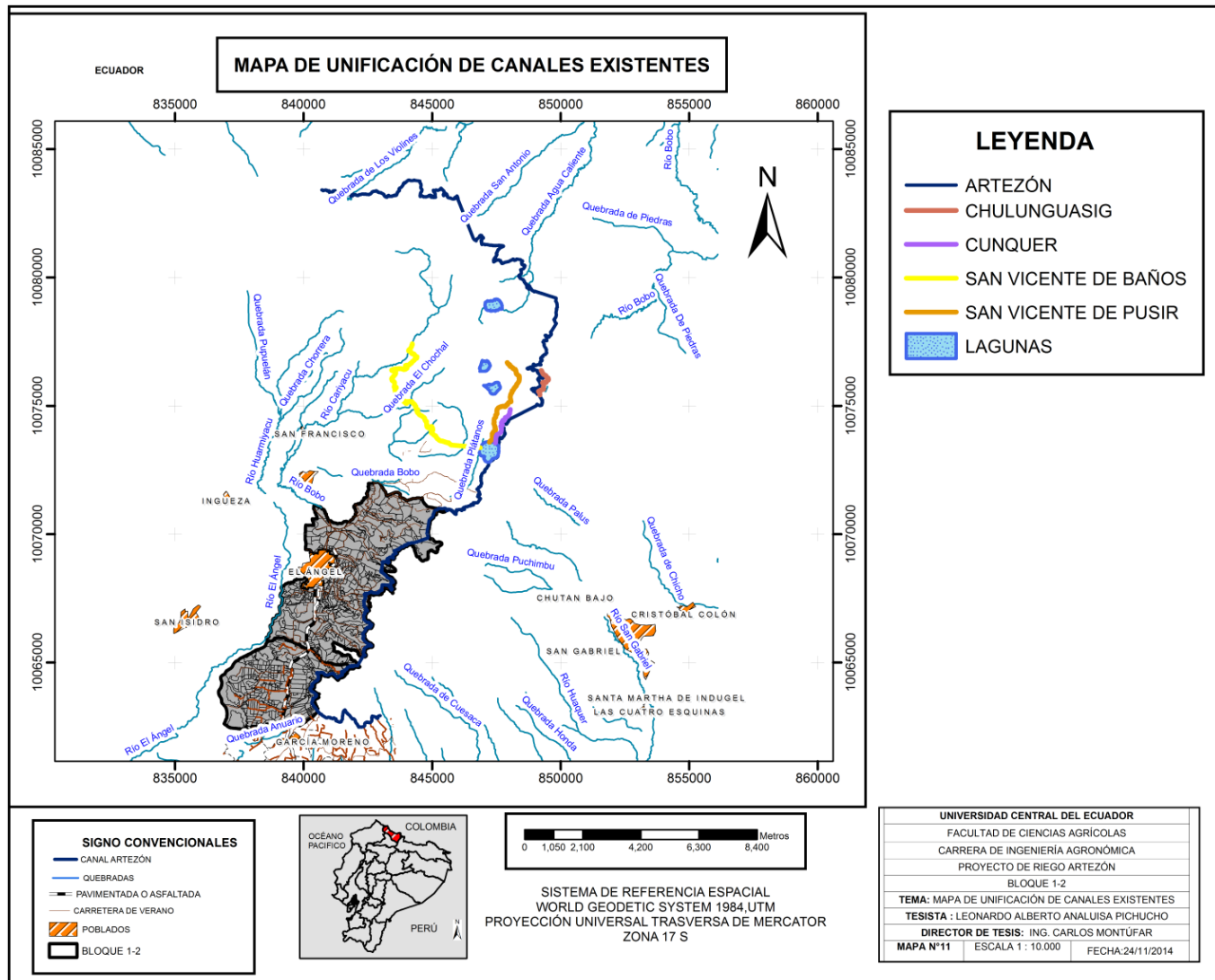
Anexo 9. Mapa de clasificación de tierras con fines de riego del bloque 1-2 para el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014.



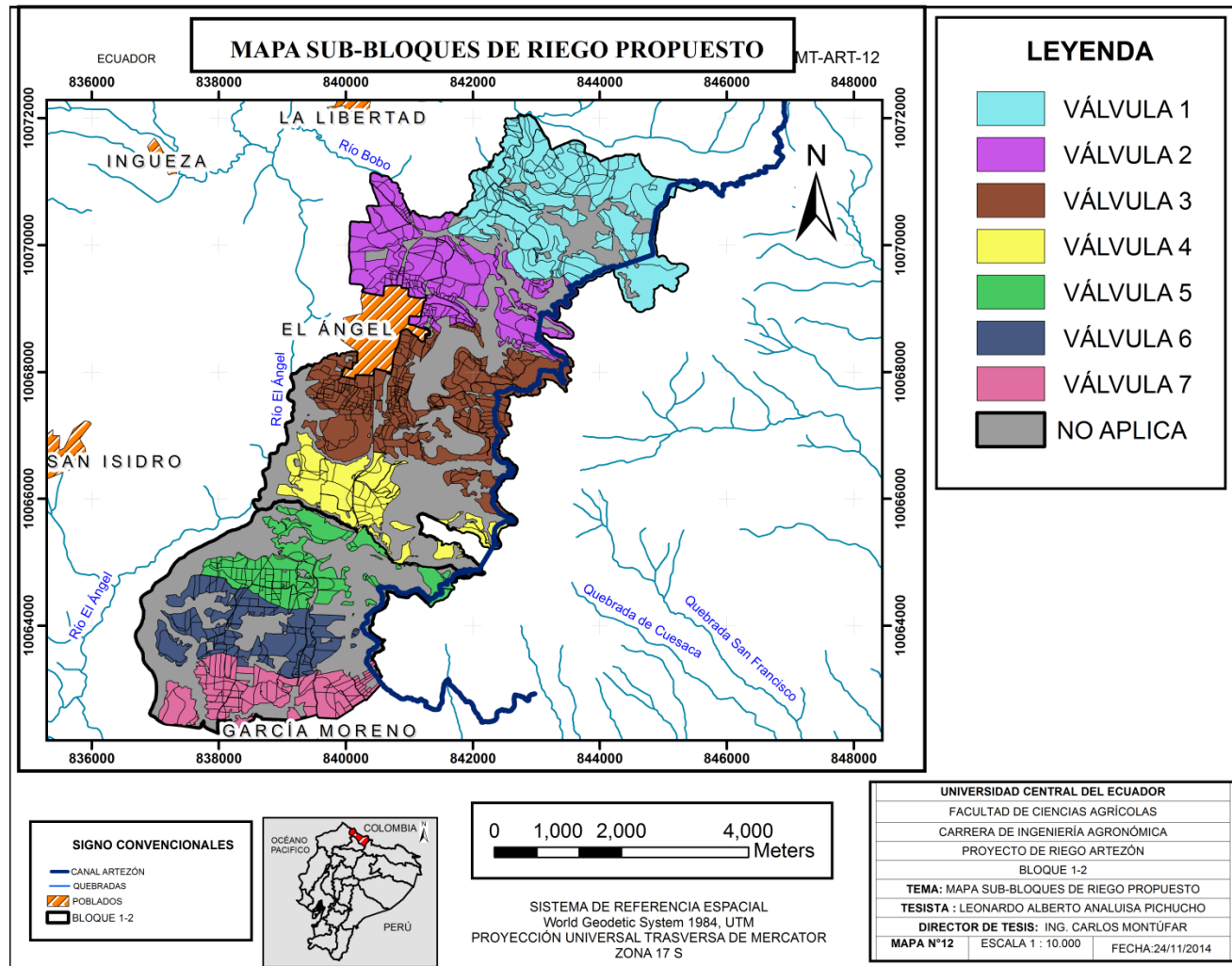
Anexo 10. Mapa de distribución técnica del agua del bloque 1 - 2 para el proyecto de riego El Artezón. El Ángel, Carchi. 2014.



Anexo 11. Mapa de unificación de canales de riego para el proyecto de riego El Artezón, Carchi. 2014.



Anexo 12. Mapa de los sub bloques de riego del bloque 1-2 para el proyecto de riego El Artezón, El Ángel, Carchi. 2014



Anexo 13.Series climáticas registradas por la estación meteorológica El Ángel bloques 1-2 en el proyecto de riego El Artezón, Carchi.2014.

Series 1. Temperatura media registrada por la estación meteorológica El Ángel, Carchi para el período 1974 a 2012.

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	11.7	11.3	11.7	12.3	11.9	11.7	11.1	11.6	11.9	11.9	11.9	12
1975	11.9	11.6	12	12.2	11.8	10.7	10.7	11.1	11.5	12.1	11.7	11.4
1976	10.9	10.9	11.6	11.9	11.3	11.1	16.1	10.5	11.4	12	11.8	11.6
1977	12.1	11.6	12.5	12	12	11.1	11.3	11.6	11.5	12.3	11.9	12
1978	11.4	12	11.9	11.7	11.4	10.9	11	10.5	11.7	12	12.5	11.7
1979	12.2	12.1	11.6	12.1	11.8	11.3	11.2	11.4	12	11.9	12.1	11.8
1980	11.8	11.6	11.5	11.8	11.7	11.3	11.1	11.1	11.5	11.9	12.4	12.3
1981	11.8	12	12	12	11.9	11.3	10.7	11.6	11.6	12.6	11.9	11.9
1982	11.3	11.6	11.8	11.9	11.6	11.6	10.8	11.2	11.3	11.7	12	12
1983	12.4	12.1	12.4	12.1	12.2	11.5	11.3	11.2	11.5	12	12.1	11.5
1984	11.1	11.5	11.8	11.4	11.6	10.5	11.4	10.9	11.5	11.1	11.8	11.9
1985	10.9	10.4	11.4	11.7	11.6	11.1	9.9	10.8	11.6	12.5	11.8	11.7
1986	12	11.3	11.1	12.4	12.1	11.6	10.7	11.2	11.5	12	12.2	11.9
1987	12.1	12.6	12.4	12.2	12.3	11.8	11.6	12.3	12.5	12.8	12.3	11.9
1988	12.5	12.4	12.2	12.4	12.7	11.5	10.6	11.4	11.7	11.7	12	11.9
1989	11.7	11.7	11.4	10.6	11.2	11.3	11.8	12.3	11.8	12.1	12	11.9
1990	11.9	11.7	12.2	12.3	11.8	11.5	10.8	10.7	11.8	12.2	12.3	11.8
1991	11.8	12.1	12.6	12.1	12.5	12.4	11.4	10.1	12	12	11.8	12.4
1992	12.3	12.4	12.8	12.7	12.3	11.8	10.2	11	11.4	11.9	12.3	12.3
1993	11.7	11.6	11.3	12.5	12.2	11.7	11	11.1	11.6	12	12.1	12.1
1994	11.5	11.7	11.7	11.8	12.1	11.3	10.8	10.4	11.6	12.2	11.6	12.4
1995	12.3	12.6	12.4	12.8	12.3	12.5	11.7	12.1	11.8	12.7	12	12
1996	11.3	11.3	11.8	12.1	12.5	11.7	11	11.2	11.9	12.4	12.4	12

1997	11.4	11.8	12.6	12.2	12.5	11	11.1	12.3	12.7	12.3	12.7	11.9
1998	13.3	13.8	13.6	14.1	13.1	12.2	11.5	11.9	12.7	12.9	12.5	11.9
1999	11.9	11.5	11.9	12.1	11.8	11.7	11	10.9	11.4	11.7	12.1	11.3
2000	11	11	11.4	12.2	12.2	12.3	11.4	11.1	11.9	12.3	12.4	12.5
2001	11.5	11.8	12.1	12.5	12.6	11.7	12	11.1	12.1	13.7	12.8	13.1
2002	12.7	13.3	13.2	13.1	11.5	12.5	11.7	12.4	12.4	12.1	12.8	11.9
2003	12.8	13	12.4	12.8	12.9	12.2	11.5	12.1	12.4	12.7	12.5	11.9
2004	12.6	12.2	12.9	12.5	12.7	11.8	11.6	11.4	12	12.8	12.3	12.4
2005	12.5	12.8	12.3	13.1	12.8	12.4	11.8	11.7	12.4	12.6	12.6	11.6
2006	11.8	12.6	12.4	12.4	12.7	11.8	11.5	11.6	11.8	12.8	11.9	12
2007	12.7	11.6	12.2	12.5	12.6	11.4	11.6	11	11.1	11.4	11.6	11.1
2008	11.8	11.9	11.7	11.3	12.1	11.6	11.2	11.2	11.7	12.1	12	11.9
2009	11.7	12	12.2	12.3	12.6	11.6	11.2	11.2	11.7	12.1	12	11.9
2010	13.6	12.1	12.1	11.5	12.3	12.3	11.3	11.2	11.7	12.1	12	11.9
2011	12	11.5	11.6	11.9	12.3	11.8	11	11.3	11.1	11.3	11.9	11.7
2012	11.7	12.3	12.1	12.1	11.7	11.5	11.4	11.5	11.9	12.4	12.2	11.9
Media	11.8	11.8	12	12.2	12.1	11.6	11.2	11.2	11.7	12.1	12	11.9
Mínima	10.9	10.4	10.9	11	11.1	10.7	9.9	10.1	10.9	11.3	11.1	11.1
Máxima	13.3	13.8	13.6	14.1	13.1	12.8	16.1	12.3	12.7	13.7	12.9	13.1

Fuente: INAMHI

Series 2. Precipitación mensual registrada por la estación El Ángel para el período 1974 a 2012.

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	180	267	224.1	51.6	67.9	61.6	82.4	28.2	61.1	142.2	225.1	292.7
1975	120.8	318.9	79.2	109.4	123.1	132.5	185.3	68.6	52.6	188.7	192.9	243.7
1976	69.8	86.6	117.8	88.9	71.3	40.6	59	16	35.8	151.9	134	89.2
1977	10.1	53.2	59.3	99.1	42.1	35.3	6.3	17.7	97	58.3	60.1	180
1978	76.5	22.4	101.8	119.5	39.1	46.1	21.7	7	6	14.1	77.8	176.4

1979	22.8	52.6	124.1	141	66	38.4	37.4	58.3	36.2	99.7	65.8	24
1980	97.5	160.9	87	137.5	26	32.5	14.3	13.4	47.2	74.9	170.5	62.1
1981	118.3	48.9	269.1	189	85.8	28.8	25.6	26.3	31.1	41	190.7	115
1982	171.7	85	77.6	141.6	62.8	2.2	31.8	23.8	16.9	143.9	124.4	313.5
1983	77.8	71.9	296.4	148.4	108.4	26	28.4	27.7	8.4	179.3	49.6	145.4
1984	171	99.1	206.4	150.2	161.5	14.8	17.4	23.2	102.4	123	126.2	29.6
1985	174.6	25.8	69.8	55.2	68	10.7	18.3	17.1	74.2	39	103	145.3
1986	37.3	107.5	141.7	79.3	96	10.5	8.4	11	52.9	129.3	55.9	117.5
1987	27.1	32.5	54.4	85.5	2.8	22.1	9	31.5	120.6	32.6	19.2	117.5
1988	68.7	58.3	28.2	102.1	48.6	70.1	42.8	23	58.5	109.4	199.9	117.5
1989	57	40.3	68.9	20.4	16.1	40.7	70.8	46.9	84.8	97.7	121.3	117.5
1990	82.3	134.5	29.1	66	73	36.6	28.5	3.5	13.3	125.5	70.7	54
1991	71.5	42.9	90.6	50.4	63.8	25.9	30.7	23.7	18.7	21	163.1	55.2
1992	29.2	69.2	55.8	62.2	63.4	19.6	24.5	35.7	53.9	19.9	51.3	75
1993	46.2	116.4	137	88.1	87	9.2	14	6.4	76.1	45.6	184.4	191.3
1994	180.7	98.9	171.5	119.5	62.3	13.9	16.5	42.8	72.6	59.7	127.3	58.7
1995	9.7	54.5	85.8	88.4	61.4	28	16.2	9.8	4.3	53.1	222.7	75.1
1996	141.8	111.2	203	118.1	85.4	39.9	18.7	22.1	16.8	62.6	73.6	103
1997	186.8	35.5	106.4	67.6	59.8	9.6	11.2	79.8	98.9	119.6	36.4	117.5
1998	18.4	33.7	73	28.7	113.9	16.4	24.6	51.6	9.2	123.7	158.1	85.7
1999	145.4	195.4	106.4	121.2	79.3	69.7	6.4	21.2	105.1	53.2	147.2	285.8
2000	159.8	156.4	120	97.2	172.2	53.8	35.4	10.5	42.8	40.8	34.8	43.3
2001	85.3	54.1	53	64.3	22	20.1	21.3	8.4	25.6	1.6	62.1	67.8
2002	61.6	19.5	60.3	75.8	70	7.1	26.5	26.3	111.9	83.3	100.6	117.5
2003	13.5	39.5	55.4	113.3	69.8	27.6	44.8	24.3	54.8	116.3	116.4	117.5
2004	66.9	29.4	29.8	109.1	39.8	11.5	14.8	4.2	22.2	46.7	101.6	119.9
2005	68	89.8	130.8	86.8	57.2	16.6	28.7	7.5	30.9	106.3	92.8	160.3

2006	104	62.9	183.8	123.7	17.8	105	12.5	18.8	18	62.9	138.5	134.6
2007	50.9	58.1	127.5	137.5	44.4	36.1	17.8	48	6.2	164.1	111.4	141.8
2008	155.2	84.7	149.9	90.6	109	15.3	14.4	30.4	170.2	128.5	121.3	117.5
2009	123.6	92.1	128.6	69.6	13	38.9	31.2	24.3	38.6	97.7	121.3	117.5
2010	71.9	62.1	36.3	22.5	61.5	93.5	213	190.5	38.6	97.7	121.3	117.5
2011	105	131.1	104.8	146.9	68.5	46.8	76.9	33.2	29.5	114.4	110.6	203.5
2012	137.6	54.3	108.3	9.3	7.6	9.1	21.4	9.4	111.7	82.7	49.9	117.5
Media	91.9	87.8	104.6	101.4	61.2	38.9	31.2	24.3	38.6	97.7	121.3	117.5
Mínima	9.7	19.5	28.2	9.3	2.8	2.2	6.3	3.5	4.3	1.6	23.8	19.2
Máxima	186.8	318.9	296.4	247.4	172.2	132.5	185.3	68.6	105.1	275.1	256.3	313.5

Fuente: INAMHI

Series 3. Humedad relativa mensual registrada por la estación El Ángel para el periodo 1974 a 2012.

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	80	82	76	77	78	81	82	80	79	79	78	78
1975	78	79	77	77	78	78	78	79	75	74	77	76
1976	76	77	76	73	77	75	78	78	75	77	79	80
1977	76	89	75	75	74	73	74	73	72	72	79	80
1978	74	73	71	75	71	75	73	74	71	70	68	75
1979	68	68	92	89	72	71	71	71	68	68	68	70
1980	72	76	75	75	74	75	73	69	71	73	70	70
1981	72	72	74	72	73	72	71	72	72	70	74	80
1982	79	76	76	76	76	74	76	73	75	75	73	74
1983	73	72	73	74	73	74	71	72	70	71	71	72
1984	72	74	73	74	73	82	75	84	85	86	86	80
1985	87	81	80	79	78	75	75	76	80	94	90	94
1986	87	91	90	88	88	88	79	78	78	79	76	80
1987	75	75	77	78	72	77	73	71	79	74	74	80

1988	80	79	73	80	79	78	76	73	78	78	79	80
1989	75	75	74	72	70	70	76	76	78	78	79	80
1990	75	82	77	78	78	75	72	73	73	81	80	78
1991	79	74	79	75	76	73	80	81	79	74	83	82
1992	76	77	77	79	80	74	74	72	73	71	73	82
1993	78	82	84	79	80	76	78	75	74	76	85	86
1994	83	80	82	81	78	76	74	75	78	81	85	93
1995	87	87	91	93	92	89	86	83	83	89	91	85
1996	90	86	88	85	83	82	79	81	81	80	77	83
1997	91	84	81	79	78	74	73	72	77	84	78	80
1998	75	76	78	78	81	76	74	74	83	84	79	80
1999	86	87	83	83	80	80	77	75	79	80	86	91
2000	89	86	86	83	84	78	77	73	72	72	75	74
2001	75	77	77	74	74	72	71	70	68	65	75	80
2002	75	74	75	75	80	78	76	76	79	82	84	80
2003	82	83	82	81	80	79	78	74	75	79	78	80
2004	77	75	75	78	80	82	80	85	84	87	89	89
2005	88	89	90	87	86	86	83	82	85	92	91	93
2006	88	87	92	92	89	91	88	79	81	90	93	94
2007	90	91	93	93	92	90	89	88	78	84	86	90
2008	81	79	85	90	78	77	77	76	75	78	79	80
2009	89	85	85	82	82	77	77	76	75	78	79	80
2010	82	80	77	76	74	81	91	89	75	78	79	80
2011	83	87	85	87	79	80	79	74	76	83	80	86
2012	88	92	95	91	90	89	90	90	94	89	79	80
Media	79	79	79	79	78	77	77	76	75	78	79	80
Mínima	68	68	71	70	70	68	69	69	68	65	65	70

Máxima	91	91	93	95	92	91	89	90	90	94	93	94
--------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Fuente: INAMHI

Series 4. Velocidad del viento promedio, registrada por la estación El Ángel para el período 1974 a 2012.

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	3.6	3	2.5	4.3	4.4	5	6.4	7.8	6.9	5.7	2.6	3
1983	4.9	5	2.4	2.7	2	4.7	4.6	6.1	5.2	5.7	3.3	2.5
1984	2.8	2.3	2.4	2.7	3.3	5.7	4.2	7.7	4.3	4.6	3.9	5.7
1985	4.5	6.2	5.3	5.2	6	12.5	6.1	7.1	4.7	4.3	4	5.1
1986	6.3	4.8	3.4	6.7	14.7	8	9.8	9.4	12.5	8	10.3	4.2
1987	7.5	9.6	8.6	2.5	11.2	6.8	12	9.1	7	9.5	5.1	4.2
1988	10	6.5	10.7	6.5	5.4	6.2	7	6.3	5.2	5.8	4.3	4.2
1989	4.2	6.2	5.2	9.2	6	5.6	3.6	8.7	2.8	4.8	4.3	4.2
1990	5.6	2.9	8.5	4.2	7.8	7.8	6.4	8.1	7.1	5.3	4.8	6.4
1991	3.4	3.3	5.8	5.8	5.8	8.5	6.4	5.8	5.1	4.8	4.8	2.9
1992	4.7	3.4	4.7	6	3.3	5.7	7.1	4.7	5.6	6.6	3.8	5.3
1993	5.8	5	4.7	5.3	6	6.6	5	5.5	5.5	5.7	2.5	5.4
1994	4.7	4.6	5.1	5.3	4.5	4.4	4.5	5.4	4.3	4.6	4.9	3.6
1995	4.3	3.6	4.2	3.7	4.4	4.4	5.3	4.5	4.7	4.4	3.1	4.2
1996	4.2	3.5	3	3.8	5.2	4.2	4.8	6.4	6.1	4.4	4.6	4.4
1997	1.8	3.1	2.3	4.5	3.5	4	5.7	4.7	4	2.6	3.7	4.2
1998	4.3	4.9	3.7	3.9	6.5	4.8	4.6	5.2	5.8	3.1	4	4.2
2000	3.8	3.5	4.8	4.5	4.4	5	5	4.7	4.8	5.9	4.4	5
2001	5.1	3.8	4.6	5.6	4.8	4.8	5.6	7.8	4.9	4.6	3.4	4.6
2002	4.8	4	5.4	5.3	5.1	5.3	7.4	4.1	3.9	4.3	3.6	4.2
2003	4.2	4.3	3.6	4.4	4.2	4.8	5.2	6.2	5.9	4.5	4.2	4.2

2004	6.2	5.3	4.1	5.3	6	4.8	4.5	6.4	6	6.9	3.3	3.6
2005	3.3	5.4	2.7	4.8	2.8	6	8.1	5.8	8.9	3.1	3.4	3
2006	3.2	3.7	3.2	3.5	6.2	8.1	10	8.3	7.4	5.2	2.6	2.8
2007	7.1	3.8	4.8	3.8	3.5	4.4	9.3	7.6	7.5	3.7	6.6	3.3
2008	3	2.6	4.7	3.3	6	5.5	8.9	5.3	3.4	3.3	4.3	4.2
2009	2.6	4.2	3.1	2.9	3.8	6.2	6.1	6.8	6.1	4.8	4.3	4.2
2010	4.6	4.5	4.5	6.9	6.7	8.8	8	4.3	4.2	3.6	4.3	4.2
2011	5	4.5	5.6	3.3	4.7	7.7	7.3	6.2	5.3	4.1	3.9	3.4
2012	3.8	6.9	4.2	4.6	5.3	4.3	8	7	3.6	3.5	4	
Media	4.6	4.3	4.5	4.4	5	6.2	6.1	6.8	6.1	4.8	4.3	4.2
Mínima	1.8	2.3	2.3	2.5	2	4	3.6	4.1	2.8	2.6	2.5	2.5
Máxima	10	9.6	10.7	6.7	14.7	12.5	10	12	12.5	7	9.5	10.3

Fuente: INAMHI

Anexo 14. Valores de las propiedades físicas de los suelos que intervienen en la interpolación para el sistema de riego Artezón 2013.

Código_muestra	H. prof. Ef(m)	CC (%)	PMP (%)	Agua aprovechable (%)	Densidad Real g/cc	Densidad aparente	R. Disponible (La) m	R. Disponible (La) mm	%A	%L	%Ac	Clase textural	OBSERVACIONES
AR-005-Ah	0.25	51.53	28.01	23.53		1.4	0.08	82.32	38	48	14	Franco	
AR- 005-Ah2(Btw)	0.9	37.74	20.51	17.23		1.5	0.23	232.61	54	36	10	Franco Arenoso	
PROMEDIO								157.46					
CR-P009-Ahp	0.35	41.31	22.45	18.86	2.01	0.36	0.02	23.76	42	46	12	Franco	
CR-P009-B-C	1.1	32.55	17.69	14.86	2.11	0.33	0.05	53.94	48	38	14	Franco	
PROMEDIO								38.85					
AR- 006-A	0.6	36.01	19.57	16.44	2.48	0.58	0.06	57.21	38	36	26	Franco	
AR-006-Bw	1.5	37.26	20.25	17.01	2.03	0.41	0.10	104.61	50	32	18	Franco	
PROMEDIO								80.91					
CR-P010-Ahp	0.3	32.56	17.7	14.86	2.18	0.67	0.03	29.87	42	30	28	Franco Arcilloso	
CR-P010-11Ah	0	30.77	16.72	14.05		1.4	0.00	0.00	32	44	24	Franco	
PROMEDIO								29.87					
CR-P015-Ahp	0.35	34.81	18.92	15.89		1.4	0.08	77.86	46	40	14	Franco	
CR- P015-Bh	0.9	27.12	14.74	12.38		1.4	0.16	155.99	46	38	16	Franco	
PROMEDIO								116.92					

Código_muestra	H. prof. Ef(m)	CC (%)	PMP (%)	Agua aprovechable (%)	Densidad Real g/cc	Densidad aparente	R. Disponible (La) m	R. Disponible (La) mm	%A	%L	%Ac	Clase textural	OBSERVACIONES
AR- 004-Bt	0.55	27.85	15.14	12.71		1.35	0.09	94.37	26	35	39	Franco Arcilloso	
AR-004-BC	1.5	27.21	14.79	12.42		1.35	0.25	251.51	36	29	35	Franco Arcilloso	
PROMEDIO								172.94					
AR-009-Ah1	0.3	33.89	18.42	15.47		1.4	0.06	64.97	46	62	16	Franco	
AR-009-Ah2	1.3	33.07	17.97	15.1		1.5	0.29	294.45	64	24	12	Franco Arenoso	
PROMEDIO								179.71					
AR-010-Ap	0.2	26.6	14.46	12.14		1.35	0.03	32.78	34	34	32	Franco Arcilloso	
AR-010-Bw	1	22.69	12.33	10.36		1.35	0.14	139.86	38	32	30	Franco Arcilloso	
PROMEDIO								86.32					
CR-B004-B-Ap	0.3	28.94	15.73	13.21		1.35	0.05	53.50	42	28	30	Franco Arcilloso	
CR-B004-Bh(11Ah)	1	29.27	15.91	13.36		1.35	0.18	180.36	34	34	32	Franco Arcilloso	
PROMEDIO								116.93					
AR-011-Ahp	0.45	28.8	15.65	13.15		1.35	0.08	79.89	34	38	28	Franco Arcilloso	
AR-011-Btw	1.2	30.58	16.62	13.96		1.5	0.25	251.28	64	23	10	Franco Arenoso	
PROMEDIO								165.58					

Código_muestra	H. prof. Ef(m)	CC (%)	PMP (%)	Agua aprovechable (%)	Densidad Real g/cc	Densidad aparente	R. Disponible (La) m	R. Disponible (La) mm	%A	%L	%Ac	Clase textural	OBSERVACIONES
CR-P008-Ah	0.4	31.17	16.94	14.23	2.21	0.67	0.04	38.14	42	38	20	Franco	
CR-P008-Bh	0.95	27.93	15.18	12.75		1.35	0.16	163.52	32	34	34	Franco Arcilloso	
PROMEDIO								100.83					
CR-P003-A	0.2	20.73	11.26	9.46	2.72	0.66	0.01	12.50	40	28	32	Franco Arcilloso	
CR- P003-BbH	0.45	21.9	11.9	10		1.35	0.06	60.75	34	26	40	Franco Arcilloso	
PROMEDIO								36.63					
AR-007-Ap	0.15	25.99	14.12	11.86		1.35	0.02	24.04	40	32	28	Franco Arcilloso	
AR-007-A	0.3	25.63	13.93	11.7		1.35	0.05	47.39	36	32	32	Franco Arcilloso	
PROMEDIO								35.71					
CR-P014-Ap	0.45	30.29	16.46	13.83	2.3	0.36	0.02	22.40	36	32	32	Franco Arcilloso	
CR-P014- Ah	0.85	31.36	17.04	14.32		1.5	0.18	182.58	64	26	10	Franco Arenoso	
PROMEDIO								102.49					

Anexo 15.Tablas de interpretación**Tabla 1.** Rangos de severidad de sequías con el índice de Gaussen con la relación de precipitación y temperatura.

P/2T	Clase
>4.5	Extremadamente húmedo
3.50-4.50	Muy húmedo
2.50-3.50	Ligueramente húmedo
1.00-2.50	Normal
0.75-1.00	Sequía ligera
0-50 -0.75	Sequia moderada
0.25-0.50	Sequía severa
0.01-0.25	Sequía extrema

Fuente:(SIGAGRO, 2010)

Tabla 2. Clasificación de la infiltración básica

CLASE	DENOMINACIÓN	RANGO (mm/h)	INTERPRETACIÓN
1	LENTA	1 a 5	Riesgo de erosión importante. Se pierde una parte considerable del agua de riego. Puede haber falta de aireación para las raíces en condiciones de exceso de humedad.
2	MODERADAMENTE LENTA	5 a 20	Óptima para riego de superficie.

Fuente:(Cadena Navarro, 2012)

Tabla 3. Interpretación de lámina potencialmente almacenable

Lámina de agua P.A.	Rango (mm)
Baja	40-79
Media	80-119
Alta	120-180

Fuente: (Velásquez, 2007)

Tabla 4. Rangos e interpretación de pendientes y profundidad efectiva

Clase	Pendiente	Características enfoque a la agricultura
I	Débil 0 a 2%	Bueno para todas las operaciones de mecanización con algunos tipos de máquinas (suelos sin piedras)
	Suave y regular 2 a 5%	Bueno para prácticamente todas las operaciones de mecanización y maquinas (suelos sin piedras). No hay dificultad para regar.
II	Suave 5 a 12 % pero micro relieve conondulación irregular	La mecanización esta posible pero no por todas las operaciones o todos tipos de máquinas. Hay algunas dificultades para regar.
III	Regular de 12 a 25% o irregular con micro relieve de 12 a 20 %	La mecanización es posible pero solamente para algunos tipos de máquinas. Hay algunas restricciones y dificultades para regar.
IV	Fuertes de más de 20 a 25% y menos de 40%	La mecanización de laboreo es posible (mejor con tractor a cadena). Pero hay dificultad o imposibilidad para la mayoría de las otras operaciones de cultivo con la máquina. Hay enormes dificultades para regar. Hay un peligro de erosión, de derrumbes.
V	Muy fuertes de 40 a 70 %	La mecanización es imposible para todas las operaciones de cultivo. Hay peligros de erosión, de soliflucción, de derrumbes. Los suelos están generalmente mezclados sobre las pendientes. Es mejor aconsejar la reforestación y conservación.
VI	Abruptas más de 70%	No hay ninguna utilización posible para la agricultura o la ganadería. Hay muchos peligros de erosión y de derrumbes. Aconsejar el bosque protector para la conservación de los suelos.

Fuente: MAGAP 2012

Anexo 16. Reporte de análisis físicos de laboratorio de los suelos muestreados para el sistema de riego El Artezón 2013.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASESORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO No. 538 Vía Intercoecánica Km 14, Granja del MAGAP, Tumbaco - Teléfono 2372-844 - Telefax 2372-845	Hoja 3 de 5
---	---	-------------

Método aplicado		Centrífuga				Gravimétrico		Cálculo	Bouyoucos			Clase textural
No. LAB.	Nombre de la Muestra	Humedad Equivalente (%)	Capacidad de campo 1/3 atm (%)	Punto de marchitez 15 atm (%)	Agua aprovechable (%)	Densidad Real (g/cc)	Densidad Aparente (g/cc)	CIC	Textura			
									% A*	% L*	% Ac*	
2728	AR-001-Ah	70.05	63.21	34.35	28.86	1.86	0.25	18.92	38	45	17	Franco
2729	AR-001-B	45.39	41.89	22.76	19.12	---	---	11.30	44	45	11	Franco
2730	AR-003-Ap	58.84	53.52	29.09	24.43	1.97	0.38	12.88	36	51	13	Franco Limoso
2731	AR-003-A	49.07	45.06	24.49	20.57	---	---	21.70	36	51	13	Franco Limoso
2732	AR-003-B	43.28	40.06	21.77	18.29	---	---	20.70	36	53	11	Franco Limoso
2733	AR-B-001	63.72	57.74	31.38	26.36	---	---	17.18	50	33	17	Franco
2734	AR-004-Bt	29.17	27.85	15.14	12.71	---	---	28.62	26	35	39	Franco Arcilloso
2735	AR-004-BC	28.43	27.21	14.79	12.42	---	---	26.18	36	29	35	Franco Arcilloso
2736	AR-005-Ah	56.55	51.53	28.01	23.53	---	---	14.68	38	48	14	Franco
2737	AR-005-Ah2(Btw)	40.60	37.74	20.51	17.23	---	---	12.10	54	36	10	Franco Arenoso
2738	AR-006-A	38.60	36.01	19.57	16.44	2.48	0.58	27.62	38	36	26	Franco
2739	AR-006-Bw	40.05	37.26	20.25	17.01	2.03	0.41	23.04	50	32	18	Franco
2740	AR-007-Ap	27.01	25.99	14.12	11.86	---	---	21.96	40	32	28	Franco Arcilloso
2741	AR-007-A	26.60	25.63	13.93	11.70	---	---	22.96	36	32	32	Franco Arcilloso
2742	AR-008-Ap	24.69	23.98	13.03	10.95	---	---	18.80	42	34	24	Franco
2743	AR-008-Ac	19.67	19.64	10.67	8.96	---	---	15.80	44	38	18	Franco
2744	AR-009-Ah1	36.16	33.89	18.42	15.47	---	---	23.06	46	62	16	Franco
2745	AR-009-Ah2	35.20	33.07	17.97	15.10	---	---	18.88	64	24	12	Franco Arenoso
2746	AR-010-Ap	27.73	26.60	14.46	12.14	---	---	22.80	34	34	32	Franco Arcilloso
2747	AR-010-Bw	23.20	22.69	12.33	10.36	---	---	22.10	38	32	30	Franco Arcilloso
2748	AR-011-Ahp	30.27	28.80	15.65	13.15	---	---	26.46	34	38	28	Franco Arcilloso
2749	AR-011-Btw	32.32	30.58	16.62	13.96	---	---	17.30	64	23	10	Franco Arenoso
2750	CR-P002-Ah	24.64	23.94	13.01	10.93	2.40	0.61	25.96	34	30	36	Franco Arcilloso
2751	CR-P002-Bh	25.78	24.92	13.54	11.38	2.54	0.81	24.76	36	22	42	Arcilloso
2752	CR-P003-A	20.93	20.73	11.26	9.46	2.72	0.66	23.24	40	28	32	Franco Arcilloso
2753	CR-P003-BbH	22.29	21.90	11.90	10.00	---	---	24.48	34	26	40	Franco Arcilloso
2754	CR-P005	47.51	43.72	23.76	19.96	2.03	0.38	23.06	28	56	16	Franco Limoso

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASESORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO No. 538 Vía Intercoecánica Km 14, Granja del MAGAP, Tumbaco - Teléfono 2372-844 - Telefax 2372-845	Hoja 4 de 5
---	---	-------------

Método aplicado		Centrífuga				Gravimétrico		Cálculo	Bouyoucos			
No. LAB.	Nombre de la Muestra	Humedad Equivalente (%)	Capacidad de campo 1/3 atm (%)	Punto de marchitez 15 atm (%)	Agua aprovechable (%)	Densidad Real (g/cc)	Densidad Aparente (g/cc)	CIC	Textura			Clase textural
									% A*	% L*	% Ac*	
2755	CR-P007-Ap	25.65	24.81	13.48	11.33	---	---	20.22	36	36	28	Franco Arcilloso
2756	CR-P007-B/Co	28.84	27.57	14.98	12.59	---	---	22.64	38	26	36	Franco Arcilloso
2757	CR-P008-Ah	33.01	31.17	16.94	14.23	2.21	0.67	26.36	42	38	20	Franco
2758	CR-P008-Bh	29.26	27.93	15.18	12.75	---	---	27.00	32	34	34	Franco Arcilloso
2759	CR-B004-B-Ap	30.43	28.94	15.73	13.21	---	---	19.78	42	28	30	Franco Arcilloso
2760	CR-B004-Bh(11Ah)	30.81	29.27	15.91	13.36	---	---	31.06	34	34	32	Franco Arcilloso
2761	CR-P009-Ahp	44.72	41.31	22.45	18.86	2.01	0.36	13.68	42	46	12	Franco
2762	CR-P009-B-C	34.61	32.55	17.69	14.86	2.11	0.33	14.24	48	38	14	Franco
2763	CR-P010-Ahp	34.61	32.56	17.70	14.86	2.18	0.67	25.58	42	30	28	Franco Arcilloso
2764	CR-P010-11Ah	32.54	30.77	16.72	14.05	---	---	23.72	32	44	24	Franco
2765	CR-P011-Ah1	60.74	55.16	29.98	25.18	1.91	0.20	19.86	50	32	18	Franco
2766	CR-P011-Ah2	42.59	39.46	21.45	18.01	2.12	0.24	16.42	70	18	12	Franco Arenoso
2767	CR-P013-Ah1	23.65	23.08	12.54	10.54	2.27	0.34	22.66	40	28	32	Franco Arcilloso
2768	CR-P014-Ap	31.98	30.29	16.46	13.83	2.30	0.36	26.28	36	32	32	Franco Arcilloso
2769	CR-P014-Ah	33.22	31.36	17.04	14.32	---	---	15.14	64	26	10	Franco Arenoso
2770	CR-P015-Ahp	37.22	34.81	18.92	15.89	---	---	12.80	46	40	14	Franco
2771	CR-P015-Ah	28.33	27.12	14.74	12.38	---	---	23.50	46	38	16	Franco

*A: Arena; L: Limo; Ac: Arcilla y CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

Anexo 17.Fotografías

Estación Meteorológica	
	
Fotografía 1. Visita a la estación meteorológica El Ángel, Carchi 2013	Fotografía 2. Garita meteorológica, estación El Ángel, Carchi 2013.
	
Fotografía 3. Veleta de la Estación El Ángel, Carchi 2013.	Fotografía 4. Pluviómetro, estación El Ángel, Carchi 2013

Campaña de suelos	
	
Fotografía 5. Materiales para descripción del suelo	Fotografía 6. Limpieza del corte de carretera en la reserva ecológica El Ángel
	
Fotografía 7. Levantamiento de información en la observación.	Fotografía 8. Muestreo del suelo para determinación de la densidad aparente con cilindro metálico.



Fotografía 9.Apertura de la calicata 1m por 1.50m y 1.50m de profundidad



Fotografía 10.Descripción de la superficie y registro con GPS de la observación.



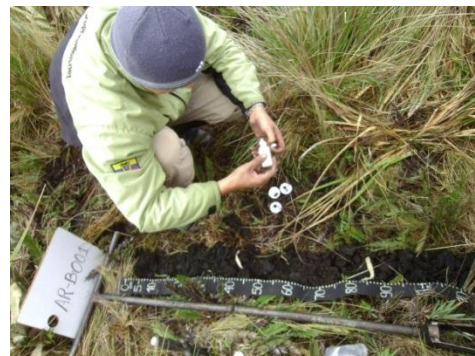
Fotografía 11. Determinación de la textura del suelo.



Fotografía 12. Descripción de la profundidad efectiva.



Fotografía 13. Barrenación



Fotografía 14. Descripción de la barrenación

Infiltración	
	
Fotografía 15. Materiales: GPS ,Infiltrómetro minidisk y piseta	Fotografía 16. Registro de las lecturas del infiltrómetro minidisk.
Levantamiento de canales principales	
	
Fotografía 17. Levantamiento de los canales en el sistema de riego.	Fotografía 18. Registro de la Entubado del canal.
	
Fotografía 19. Recorrido de los canales secundarios.	Fotografía 20. Ubicación de las principales acequias con ayuda del promotor en el mapa base.

Levantamiento Predial	
	
Fotografía 21. Comprobación de los predios mediante el SIG y mapas parlantes.	Fotografía 22. Registro para el levantamiento del padrón de usuarios.
	
Fotografía 23. Reunión presidente de la junta del canal el Artezón con la directiva.	Fotografía 24. Recorrido de los predios con promotor de la zona Sr Carlos Murillo ubicación de los usuarios.

Uso del suelo	
	
Fotografía 25. Cultivo de cebada en la zona el Ángel y García Moreno	Fotografía 26. Pastizal natural, zona de transición
	
Fotografía 27. Pastizal cultivado (Rey grass con trébol blanco)	Fotografía 28. Área por consolidarse la Urbanización
	
Fotografía 29. Cultivo de papa sitio Chavayan	Fotografía 30. Cultivo de haba El Ángel