

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE AGUA APLICADA EN EL CULTIVO DE
REMOLACHA (*BETA VULGARIS*) REGADA CON PIVOTES CENTRALES**

CARLOS MATIAS BUSTOS MELLA

PROYECTO DE TÍTULO
PRESENTADO A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AGRÍCOLA.

CHILLÁN-CHILE

2022

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE AGUA APLICADA EN EL CULTIVO DE
REMOLACHA (*BETA VULGARIS*) REGADA CON PIVOTES CENTRALES**

Aprobado por:

Camilo Ignacio Souto Escalona
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
Profesor Asistente

Profesor Guía

Eduardo Antonio Holzapfel Hoces
Ingeniero Agrónomo, Ph.-D.
Profesor Emérito

Profesor Co-Guía

Viviana Alejandra Gavilán Pino.
Ingeniera Civil Agrícola, Mg.
Asesor Externo

Asesor Externo

Nicole Uslar Valle
Ingeniera Civil Agrícola, Ph.-D.
Profesor Asistente

Directora del Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph.-D.
Profesor Asociado

Decana

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería (CRHIAM), por otorgarme la beca de pregrado del proyecto ANID/FONDAP/15130015, la cual hizo posible el desarrollo de esta investigación “Análisis y evaluación de agua aplicada en el cultivo de remolacha (*Beta vulgaris*) regada con pivotes centrales”.

Además de permitirme participar en el “Water Congress 2021”.

DEDICATORIA

En realidad, hay a muchas personas a quienes dedicar este largo proceso, los cuales estuvieron presentes junto a mí, tanto en estudio como en apoyo. Primeramente, agradezco enormemente a la Universidad de Concepción, a la Facultad de Ingeniería Agrícola que me encaminaron hasta aquí.

A todos los docentes que tuvieron fe en mí (a pesar de fallar una y otra vez), permitiéndome sobrellevar cualquier dificultad y así sobrepasar todos los problemas, además de brindarme sus conocimientos y valores invaluable.

A mi profesor guía Dr. Camilo Souto Escalona, mi profesor Co-guía Dr. Eduardo Holzapfel Hoces y a todos los profesores del comité por el apoyo y paciencia que me brindaron en esta investigación y nunca se rindieron conmigo a pesar de demorar tanto. Al profesor Jerónimo Paredes el cual me ha apoyado en todo momento, me ha ayudado en incontables ocasiones y al cual respeto muchísimo. A todos los guardias y auxiliares que han estado ahí para charlar conmigo cuando estaba mal por alguna cosa. A mis mejores amigos que han estado en todo momento Javier, Oscar, Rodrigo, Dieguito, Pablo y como olvidar al Andy Joe que ha apañado en todo momento al estudio. A mi Madre, Padre y Hermano que han estado junto a mí en todo momento y me han apoyado hasta más no poder. A mi hijo Alonso que llegará a nuestras vidas <3. Y le dedico esto a mi abuelita Nono que nos dejó hace muy poco tiempo y nos mira desde el cielo.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3. ANTECEDENTES GENERALES	9
3.1 Sitios de estudio	9
3.2 Imágenes satelitales.....	19
4. METODOLOGÍA	20
4.1 Base de datos	20
4.2 Datos de estudio.....	20
4.3. Modelo de FAO-Penman Monteith	23
4.4. Determinación de Evapotranspiración de cultivo (ETc).....	25
4.5. Obtención de ETc real.....	27
4.6. Análisis de los datos.....	28
4.7. Procesamiento de las imágenes satelitales	30
4.8. Balance anual de agua aplicada.....	33
4.9. Análisis estadístico de los datos	34
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
5.1 Región del Maule	45
5.1.1 Pivote 1	45
5.1.2 Pivote 2	48
5.1.3 Pivote 3.....	50
5.1.4 Pivote 4.....	51
5.1.5 Pivote 6	53
5.1.6 Pivote 7.....	54
5.1.7 Pivote 8.....	55
5.1.8 Pivote 9.....	56
5.1.9 Pivote 10.....	57

5.1.10 Pivote 11.....	58
5.1.11 Pivote 12.....	59
5.2 Región de Ñuble.....	60
5.2.1 Pivote 13.....	60
5.2.2 Pivote 14.....	61
5.2.3 Pivote 15.....	62
5.2.4 Pivote 16.....	63
5.2.5 Pivote 17.....	64
5.2.6 Pivote 18.....	65
5.2.7 Pivote 19.....	66
5.2.8 Pivote 20.....	67
5.2.9 Pivote 21.....	68
5.2.10 Pivote 22.....	69
5.2.11 Pivote 23.....	70
5.2.12 Pivote 24.....	71
5.3 Región del Bio Bío.....	72
5.3.1 Pivote 25.....	72
5.3.2 Pivote 26.....	73
5.3.3 Pivote 28.....	75
5.3.4 Pivote 29.....	76
5.3.5 Pivote 30.....	77
5.3.6 Pivote 31.....	78
6 CONCLUSIÓN.....	80
7 LITERATURA CITADA.....	84
8. ANEXOS Y APÉNDICES.....	87
9. ANEXO DIGITAL.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1.	Estaciones agrometeorológicas seleccionadas para el sitio de estudio.....	18
Tabla 2.	Características técnicas del satélite L-8.....	19
Tabla 3.	Código de imagen, PATH, ROW, fecha y porcentaje de nubosidad (metadatos) de las imágenes a utilizar en temporada (sep-2019 a jun-2020).....	21
Tabla 4.	Código de imagen, PATH, ROW, fecha y porcentaje de nubosidad (metadatos) de las imágenes a utilizar en temporada (sep-2019 a jun-2020).....	22
Tabla 5.	Valores de Cn y Cd en la Ec 1.....	25
Tabla 6.	Factor de cultivo inicial (Kcini), factor de cultivo de máxima demanda de agua (Kcmed) y factor de cultivo final (Kcfin), para la remolacha azucarera en Chile (cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos) (HRmin \approx 45%, u2 \approx 2 m s-1)...	26
Tabla 7.	Pivote numero (N°), Sitio de estudio (Sitio), Agua aplicada (mm temporada-1), precipitación efectiva (PP) (mm temporada-1), Total recarga (mm temporada-1), y ETc (mm temporada-1) para la temporada 2019-2020, con cultivos de remolacha azucarera.....	36
Tabla 8.	Superficie regada, riego, precipitación, total agua aplicada y ETc actual de cada pivote durante la temporada (septiembre 2019 a mayo 2020).....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1:	Ubicación de sitios de estudio. Fuente: Elaboración propia.	10
Figura 2:	Mapa del sitio 1 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	11
Figura 3:	Mapa del sitio 2 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	11
Figura 4:	Mapa del sitio 3 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	12
Figura 5:	Mapa del sitio 4 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	12
Figura 6:	Mapa del sitio 6 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	13
Figura 7:	Mapa del sitio 6 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	13
Figura 8:	Mapa del sitio 7 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	14
Figura 9:	Mapa del sitio 8 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	14
Figura 10:	Mapa del sitio 9 de estudio. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 11:	Distrito agroclimático de O'Higgins y el Maule. Fuente: AGRIMED (201?).	16
Figura 12:	Distrito agroclimático de Ñuble, Biobío y Araucanía. Fuente: AGRIMED (201?).	17
Figura 13:	Valores de Kc para las distintas etapas fenológicas de la remolacha azucarera utilizados por IANSA. Fuente: IDIA, IANSA (2019).	26
Figura 14:	Diagrama de flujo de la metodología propuesta.	30
Figura 15:	ETc acumulada para cada pivote de riego. Fuente: Elaboración propia	37

Figura 16:	Agua acumulada para cada pivote de riego. Fuente: Elaboración propia	38
Figura 17:	Comparación del agua acumulada (mm) y ETc acumulada (mm) para cada pivote de riego. La línea discontinua corresponde a 1:1.	39
Figura 18:	Riego y precipitación (mm), de cada pivote analizado durante la temporada 2019-2020. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 19:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “1”, perteneciente al sector 1 (Región del Maule).	45
Figura 20:	Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc) por píxeles en pivote “1”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre – 2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 21:	Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc) por píxeles en pivote “1”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero- 2020. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 22:	Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “1,obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.....	46
Figura 23:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “2”, perteneciente al sector 2 (Región del Maule).....	48
Figura 24:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “3”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule).....	50

- Figura 25: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “4”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.51
- Figura 26: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “5”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.52
- Figura 27: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “6”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.53
- Figura 28: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “7”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.54
- Figura 29: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “8”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.55
- Figura 30: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “9” perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.56
- Figura 31: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “10” perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.57
- Figura 32: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “11”, perteneciente al sector 4 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.58
- Figura 33: Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA),

	para el pivote “12”, perteneciente al sector 4 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.	59
Figura 34:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA(ETc IANSA), para el pivote “13”, perteneciente al sector 5 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 35:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “14”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	61
Figura 36:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “15”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 37:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “16”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	63
Figura 38:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “17”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	64
Figura 39:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “18”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 40:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “19”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 41:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “20”, perteneciente al sector 6 (Región de	

	Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 42:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “21”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	68
Figura 43:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “22”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	69
Figura 44:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “23”, perteneciente al sector 7 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 45:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “24”, perteneciente al sector 7 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 46:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “25”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 47:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “26”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 48:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “27”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.....	74
Figura 49:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “28”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.....	75

Figura 50:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “29”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 51:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “30”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 52:	Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “31”, perteneciente al sector 9 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.....	78
En el Anexo		Página
Figura 53:	Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “1”, perteneciente al sector 1 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.....	87
Figura 54:	Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “2”, perteneciente al sector 2 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.....	87
Figura 55:	Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “3”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	88
Figura 56:	Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “4”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	88
Figura 57:	Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “5”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	89
Figura 58:	Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “6”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.....	89

- Figura 59: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “7”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.90
- Figura 60: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “8”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.90
- Figura 61: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “8-b”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.91
- Figura 62: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “9”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.91
- Figura 63: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “10”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.92
- Figura 64: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “11”, perteneciente al sector 4 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.92
- Figura 65: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “11-b”, perteneciente al sector 4 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.93
- Figura 66: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “12”, perteneciente al sector 4 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.93
- Figura 67: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “13”, perteneciente al sector 5 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.94
- Figura 68: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “13-b”, perteneciente al sector 5 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.94
- Figura 69: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “13-c”, perteneciente

- al sector 5 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.95
- Figura 70: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “14”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.95
- Figura 71: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “15”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.96
- Figura 72: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “15-b”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.96
- Figura 73: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “16”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.97
- Figura 74: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “17”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.97
- Figura 75: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “18”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.98
- Figura 76: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “19”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.98
- Figura 77: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “20”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.99
- Figura 78: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “20-b”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.99
- Figura 79: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “21”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia. 100

- Figura 80: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “22”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia. 100
- Figura 81: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “23”, perteneciente al sector 7 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia. 101
- Figura 82: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “24”, perteneciente al sector 7 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia. 101
- Figura 83: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “25”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia. 102
- Figura 84: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “26”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia. 102
- Figura 85: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “27”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia. 103
- Figura 86: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “28”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia. 103
- Figura 87: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “29”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia. 104
- Figura 88: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “30”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia. 104
- Figura 89: Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “31”, perteneciente al sector 9 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia. 105

ÍNDICE DE ECUACIONES

		Página
Ecuación 1.	Evapotranspiración de referencia (ET _r).....	24
Ecuación 2.	Determinación de Evapotranspiración de cultivo (ET _c)	25
Ecuación 3.	Flujo de calor latente (λE)	28
Ecuación 4.	Determinación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para sensor Landsat 8	31
Ecuación 5.	Determinación de la evapotranspiración de cultivo mediante imágenes satelitales (Landsat 8)	33
Ecuación 6.	Coeficiente de cultivo real (K _c real)	33
Ecuación 7.	Demanda estimada de agua	34
Ecuación 8.	Demanda potencial de agua.....	33
Ecuación 9.	Demanda de agua por IANSA.....	34
Ecuación 10.	Cálculo de error cuadrático medio (RMSE)	35

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE AGUA APLICADA EN EL CULTIVO DE REMOLACHA (BETA VULGARIS) REGADA CON PIVOTES CENTRALES

ANALYSIS AND EVALUATION OF WATER APPLIED IN SUGARBEET
(BETA VULGARIS) IRRIGATED WITH CENTER PIVOTS

Palabras clave: METRIC, Teledetección, Evapotranspiración, Landsat 8,
AQUASAT.

RESUMEN

El objetivo general de esta investigación fue analizar y evaluar el agua aplicada en el cultivo de remolacha (*Beta vulgaris*) regada por pivote central en la zona centro sur de Chile. Se utilizaron imágenes satelitales provenientes de Landsat-8 para determinar la evapotranspiración de cultivo (ET_c) y coeficiente de cultivo (K_c) de la remolacha azucarera en 31 pivotes centrales para la temporada 2019-2020, mediante la plataforma AQUASAT, la cual utiliza la metodología METRIC. A través de la integración de los mapas de NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) calculados para Landsat-8, resultando una serie temporal de NDVI utilizada para la estimación de ET_c real.

Los resultados mostraron que, de los 31 pivotes evaluados, un 80,6% mostró valores similares de ET_c actual y agua aplicada, mientras que 19,4% mostró mayores diferencias (6,9% de error relativo). Además, se observó que un 90% de pivotes centrales aplican la cantidad de agua necesaria hasta 90

días después de siembra, posteriormente los volúmenes de agua suministrados por los agricultores fueron superiores a ETc.

Finalmente, las diferencias encontradas entre la ETc anual y el volumen de agua aplicada total en la temporada fueron en promedio $711,61 \pm 73,91$ mm.

El enfoque propuesto para la determinación de la demanda de agua de remolacha puede ser usado para estimar la cantidad de agua aplicada y para supervisar el manejo de agua que están desarrollando los agricultores con sus pivotes centrales, con el fin último de colaborar en manejos óptimos del agua aplicada por los pivotes centrales.

ANALYSIS AND EVALUATION OF WATER APPLIED IN SUGARBEET
(*BETA VULGARIS*) IRRIGATED WITH CENTRAL PIVOTS

Keywords: METRIC, remote sensing, Evapotranspiration, Landsat 8, AQUASAT.

SUMMARY

The general objective of this research was to analyze and evaluate the water applied in the beet (*Beta vulgaris*) crop irrigated by center pivot in the south-central zone of Chile. Satellite images from Landsat-8 were used to determine the ET_c and K_c of sugar beet in 31 center pivots for the 2019-2020 season, through the AQUASAT platform, which uses METRIC methodology. Through the integration of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) maps were calculated for Landsat-8, resulting in a time series of NDVI used for the estimation of real ET_c.

The main results show, that of the 31 evaluated pivots, 80.6% give similar values of ET_c and applied water, while 19.4% showed differences (6.9% relative error). In addition, it was observed that 90% of the center pivots applied the required amount of water up to 90 days after sowing, subsequently, the volumes of water supplied by the farmers were higher than the ET_c.

Finally, the differences found between the annual ET_c and the total volume of water applied in the season were on average 711.61 ± 73.91 mm. The

proposed approach for determining sugar beet water demand can be used to estimate the water applied and to supervise the water management that farmers are developing with their center pivots, with the objective of helping in the optimal management of water applied by the center pivots irrigation system.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural insustituible que cada vez se hace más escaso, debido a que, a finales del siglo XX forma parte de la producción de alimentos, sirve para la higiene personal y es indispensable para el buen funcionamiento del metabolismo de los seres vivos (Delgado, 2015).

Otro de los factores que implica la escasez de este recurso, es la sobreexplotación de las aguas subterráneas y el uso irresponsable en el riego agrícola, afectando tanto en el presente como en el futuro. La agricultura consume a nivel mundial entre un 75% y 80% del agua, porcentajes similares podemos encontrar en Chile.

En el mundo, la demanda de remolacha azucarera en el año 2019 alcanza 226 millones de toneladas, con un stock inicial de 36 millones y una producción estimada de 190 millones de toneladas, frente a un consumo mundial de azúcar estimado en alrededor de 190 millones de toneladas (OCDE-FAO, 2020).

Como cultivo anual de importancia, la remolacha mantiene su presencia en las regiones del sur del Chile, donde, por necesidades de rotación, altas productividades obtenidas e importancia como cultivo relacionado a la producción ganadera y lechera, se vislumbra como una buena alternativa.

La Secretaría Regional Ministerial de Agricultura de la Región del Bío Bío informa que el rendimiento promedio, base 16% de polarización, es de 94 toneladas de remolacha entera limpia por hectárea, sin descuento por

corona, en la Planta Cocharcas, y 92 Ton/ha en la Planta Los Ángeles. El porcentaje promedio de polarización es de 17,1% en Ñuble y 17,4% en Bío Bío.

La superficie se estima alrededor de 7.197 ha (2020-2021), y con rendimientos cercanos a 90 ton ha⁻¹ de remolacha, con una concentración de siembra del 22,27% en la región del Maule, 53,22% en la región de Ñuble, 16,63% en la región del Bio bío y un 7,88% en la Región de la Araucanía (INE, 2021).

Es por esto por lo que se hace fundamental cuantificar exactamente la demanda de agua de cultivos y frutales.

Una de las alternativas para cuantificar la demanda de agua en los cultivos es la Evapotranspiración de referencia (ET_r). La ET_r se puede determinar según la demanda de agua y condiciones climáticas del sector agrícola que se encuentre sujeto a evaluación, pero este queda sujeto a las limitaciones de la información meteorológica existente.

El método estandarizado de la FAO Penman- Monteith (FAO 56, 2006). Para ser utilizado es necesario cuatro variables fundamentales para así determinar la ET_r como: Radiación solar (R_s), temperatura del aire (T_a), humedad relativa (HR) y velocidad de viento (u).

La remolacha, es regada principalmente por sistemas de riego por pivote central, donde existe la posibilidad de conocer la cantidad de agua aplicada

por cada equipo mediante contadores de volumen, y actualmente con telemetría, donde existe un aumento importante de equipos que incorporan esta tecnología en los últimos años. Esto nos brinda la posibilidad de comparar las estimaciones de ET de cultivo (ETc) considerando el coeficiente de cultivo (Kc) estándar y la ETc obtenida mediante sensores remotos con la cantidad de agua aplicada en cada evento de riego y en la temporada.

Teniendo como base que el agua es un recurso limitante a la hora de hablar de producción. Por lo que es necesario optimizar su uso y aplicarse de manera correcta y eficiente a los cultivos, con ello se pueden emplear nuevas tecnologías como la teledetección y el modelamiento, ayudando así a mejorar y racionalizar las prácticas de aplicación del agua mediante un seguimiento remoto.

A partir de lo descrito anteriormente es necesario responder algunas preguntas de investigación como: ¿Es posible comparar la ETc determinada mediante sensores remotos y estaciones meteorológicas puntuales?, ¿Conociendo la ETc a partir de sensores remotos es posible conocer los manejos de agua que se estén llevando de una manera correcta al cultivo de remolacha? ¿Se puede comparar la aplicación de agua y la demanda del cultivo a lo largo del año con los parámetros suministrados de las estaciones e imágenes satelitales en los pivotes?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar el agua aplicada en el cultivo de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) regada por pivote central en la zona centro sur de Chile.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar la evapotranspiración potencial de la remolacha para la temporada de riego 2019-2020.
- Analizar las imágenes satelitales para la temporada de riego 2019-2020 para obtener la evapotranspiración actual y Kc actual.
- Comparar el agua aplicada, la evapotranspiración potencial y actual para realizar una evaluación temporal de consumo de agua de la remolacha en la temporada 2019-2020.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1 Sitios de estudio

Los sitios de estudio comprenden zonas ubicadas en la VII región del Maule, (35°43'42.76"S latitud y 71°28'33.14"O longitud), XVI región de Ñuble y la VIII región del Biobío (37°37'9.72"S latitud y 72° 9'16.11"O longitud). La zona se caracteriza por tener un clima de carácter templado de tipo mediterráneo (con lluvias invernales), condición que favorece el desarrollo de distintas variedades de plantaciones agrícolas. En la zona de estudio, existe un total de 31 pivotes de riego (34 zonas de contrato) para el cultivo de remolacha, los cuales están representados en la Figura 1.

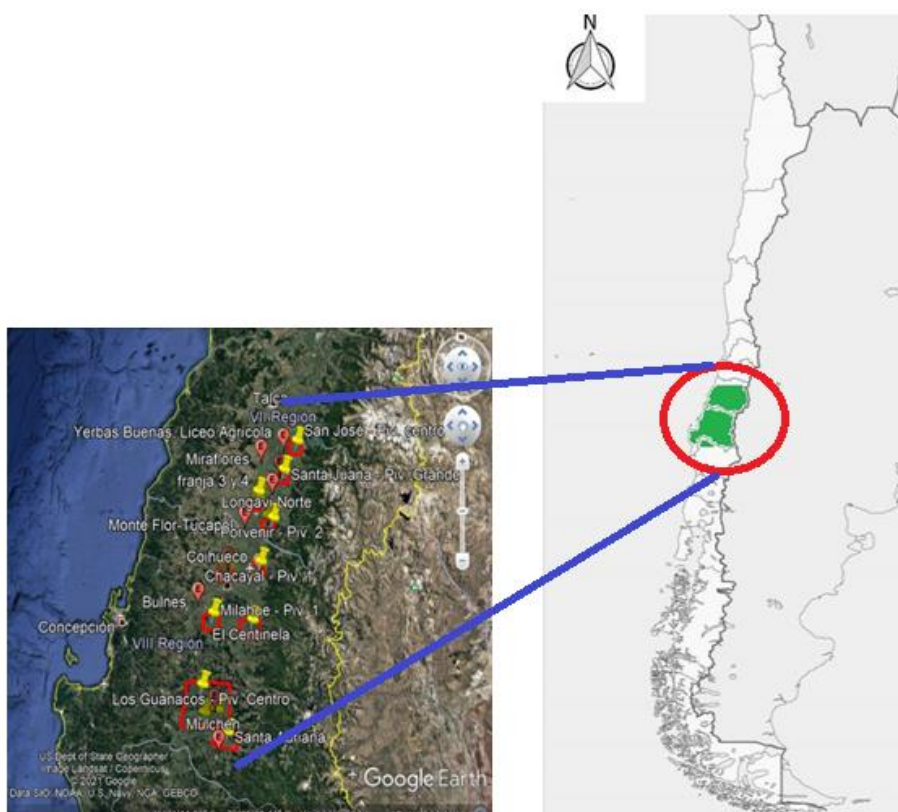


Figura 1. Ubicación de sitios de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Los sitios de estudio utilizados son seleccionados tomando como base las estaciones meteorológicas de la zona centro sur de Chile, en donde los terrenos tienen una similitud en cuanto a la ubicación que corresponde a zonas de cultivos agrícolas, propiedades tanto del Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA) y de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) que cuentan con información climatológica diaria. Los sitios fueron elegidos estratégicamente por la cercanía entre sí y con las estaciones agroclimáticas. A continuación, se pueden apreciar los sitios de estudios considerados en esta investigación (Figura 2 a 10).

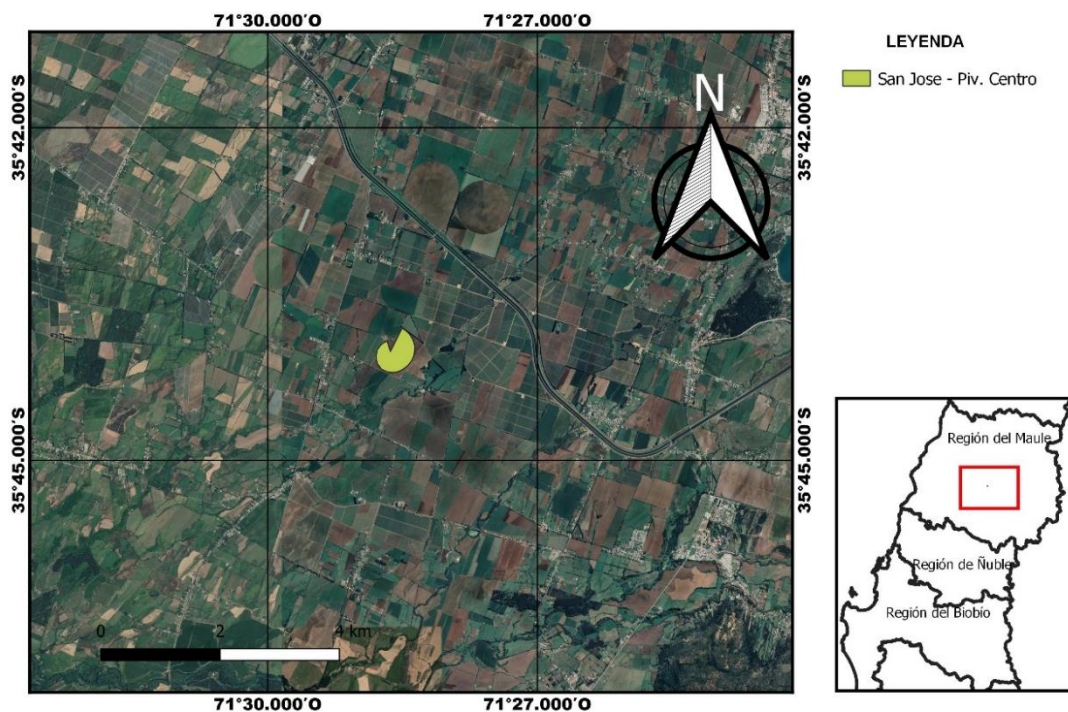


Figura 2. Mapa del sitio 1 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

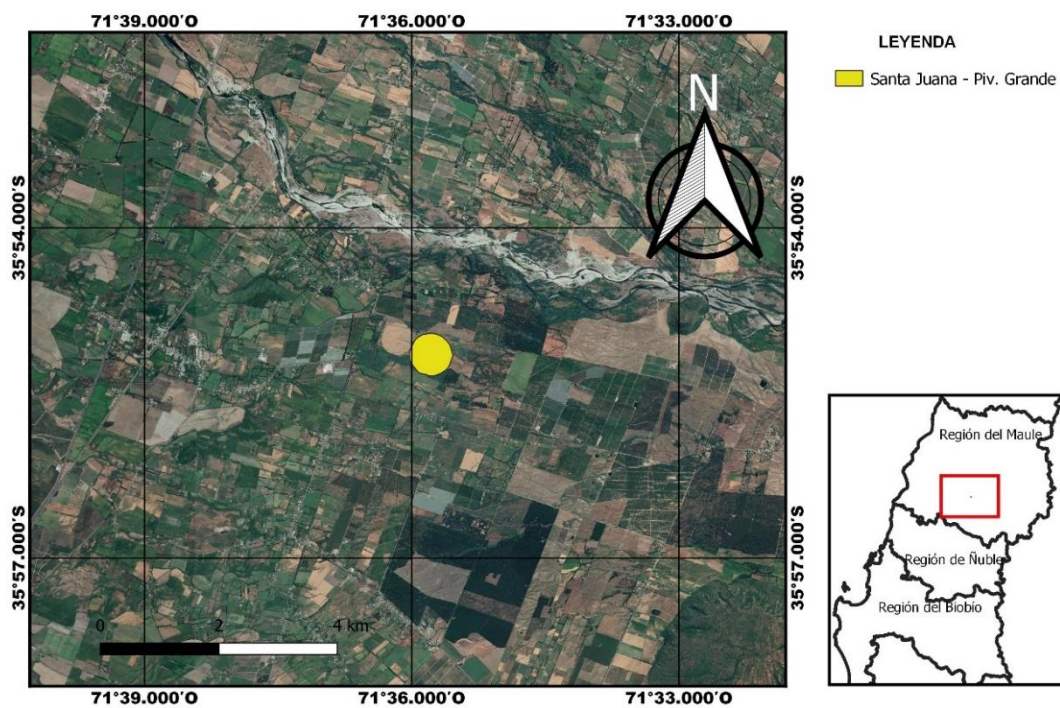


Figura 3. Mapa del sitio 2 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

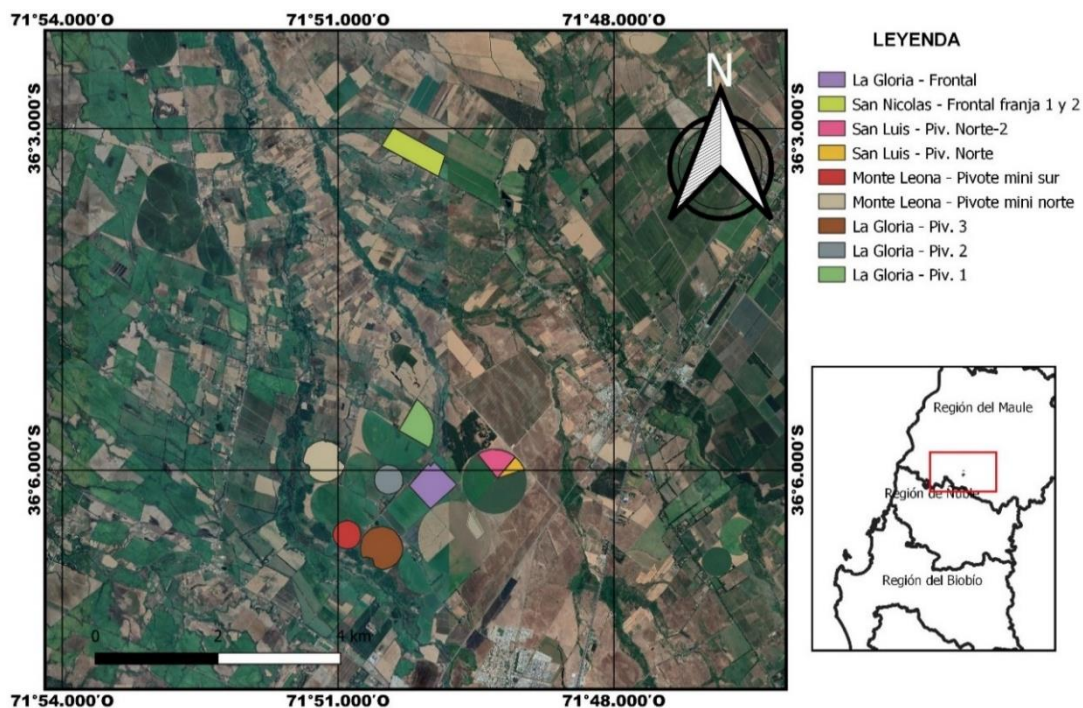


Figura 4. Mapa del sitio 3 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

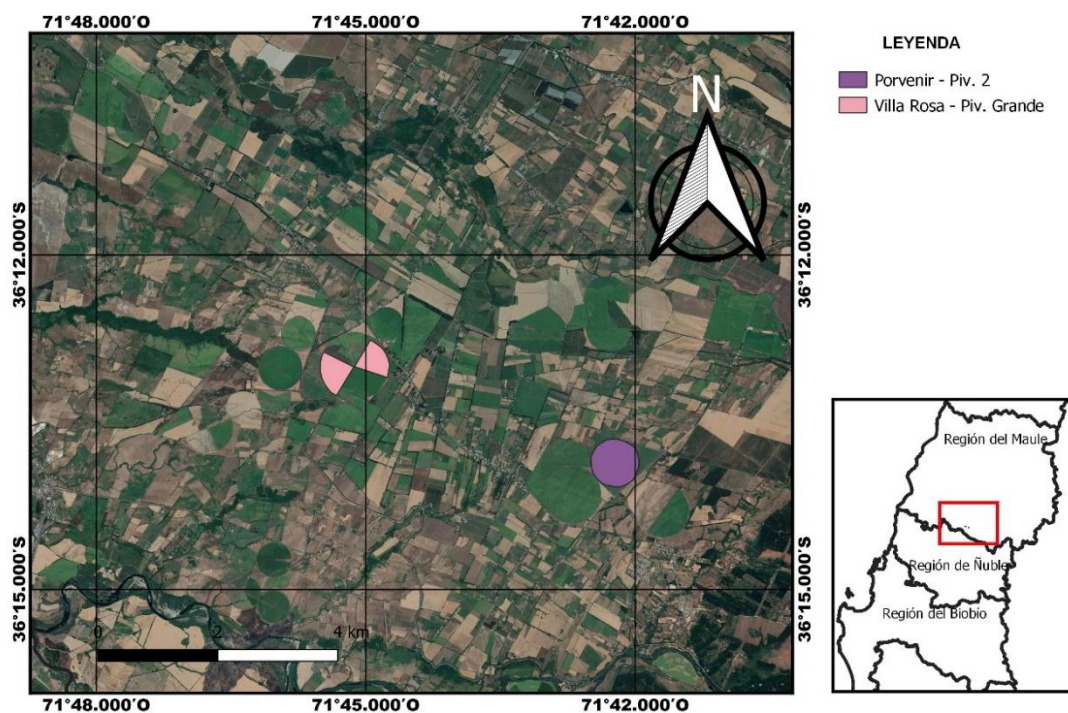


Figura 5. Mapa del sitio 4 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

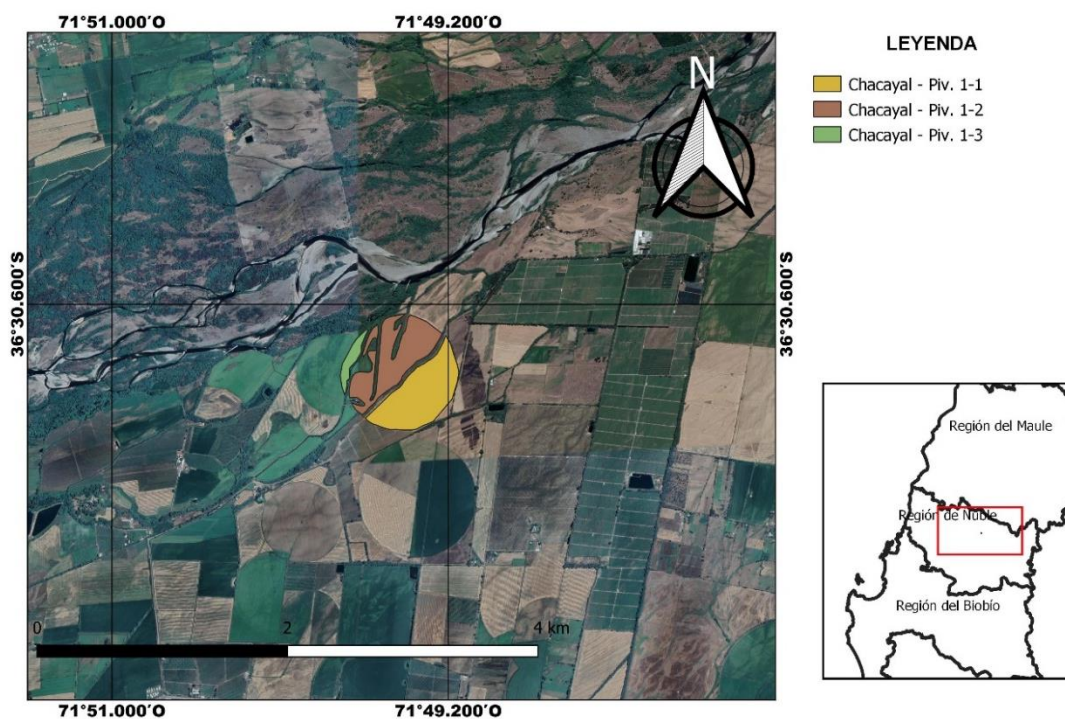


Figura 6. Mapa del sitio 6 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

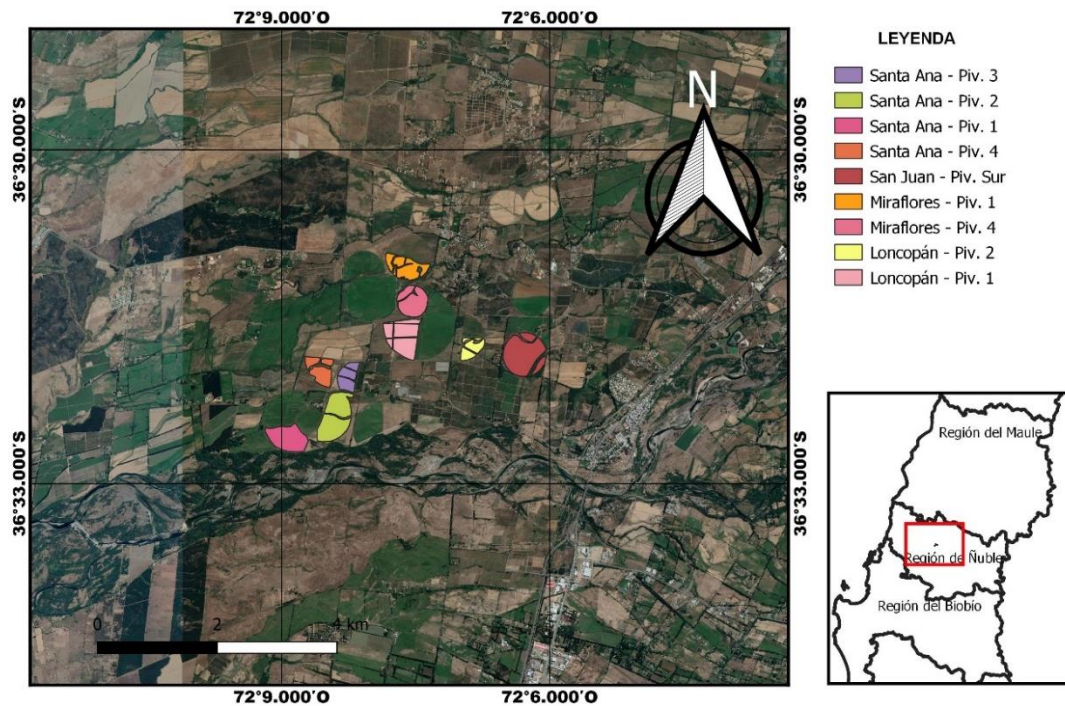


Figura 7. Mapa del sitio 6 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

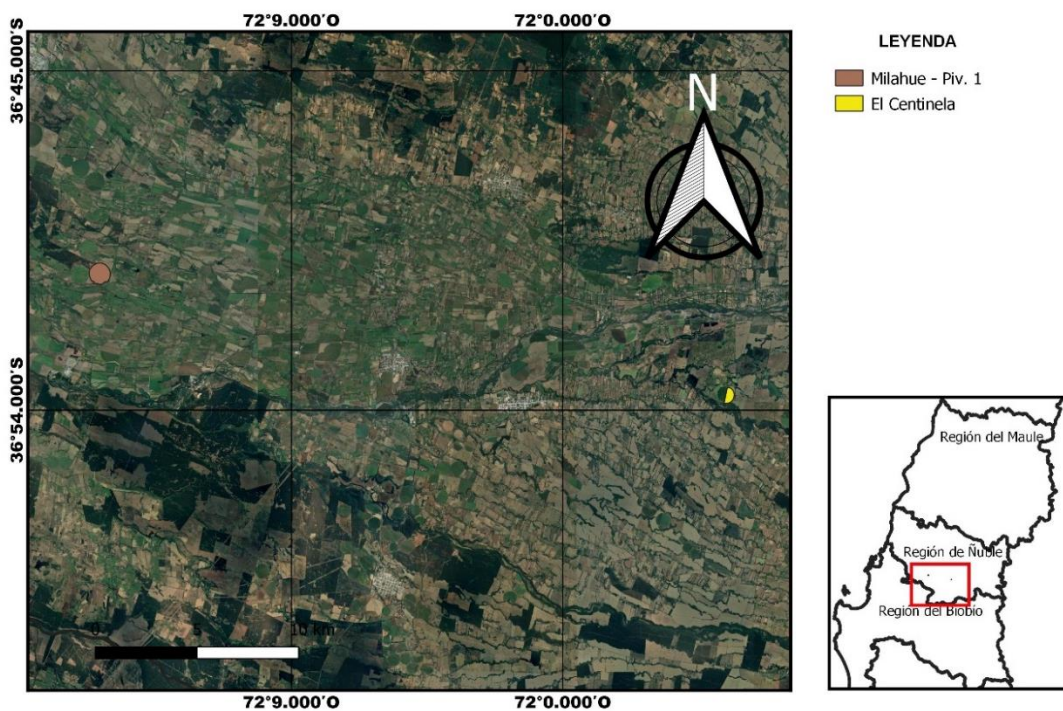


Figura 8. Mapa del sitio 7 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

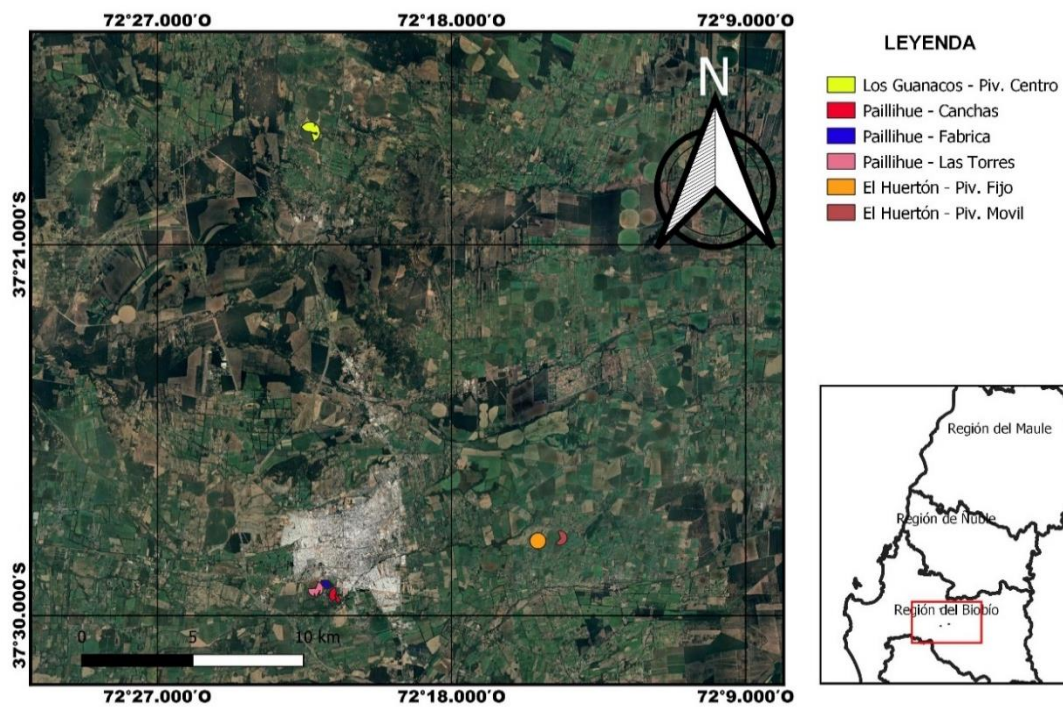


Figura 9. Mapa del sitio 8 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

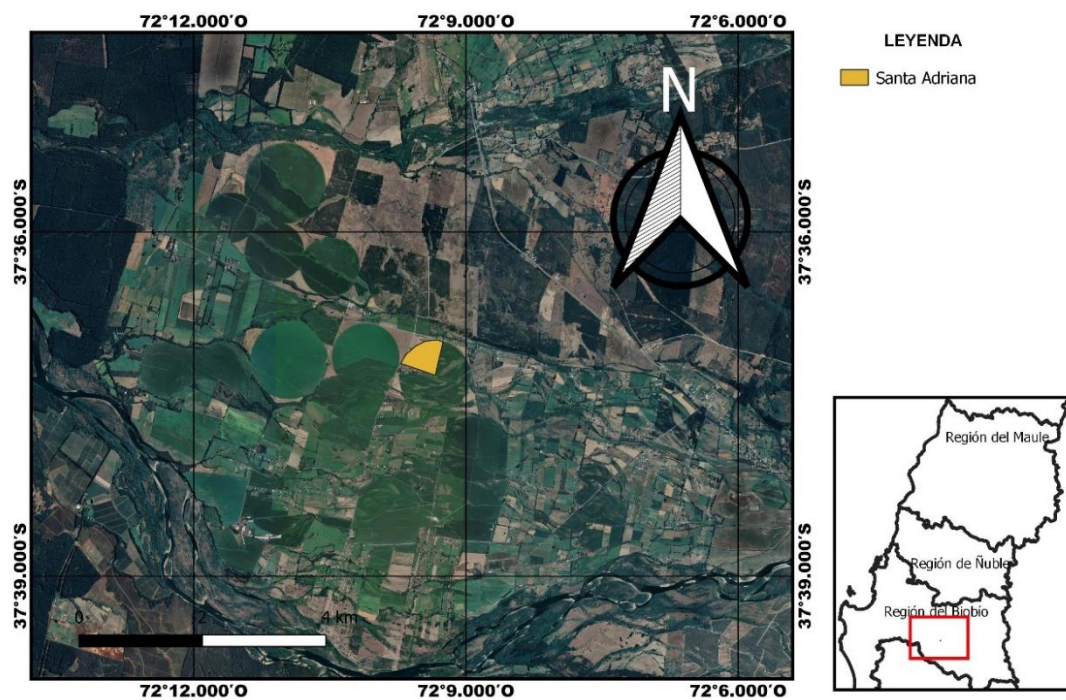


Figura 10. Mapa del sitio 9 de estudio. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la variabilidad espacial que tiene la zona de estudio, y se espera que a su vez la Evapotranspiración de cultivo (ET_c) la cual se obtendrá en función de los diferentes distritos agroclimáticos de la zona centro sur de Chile (Atlas Agroclimático de Chile, 2017) (Figuras 11 y 12).

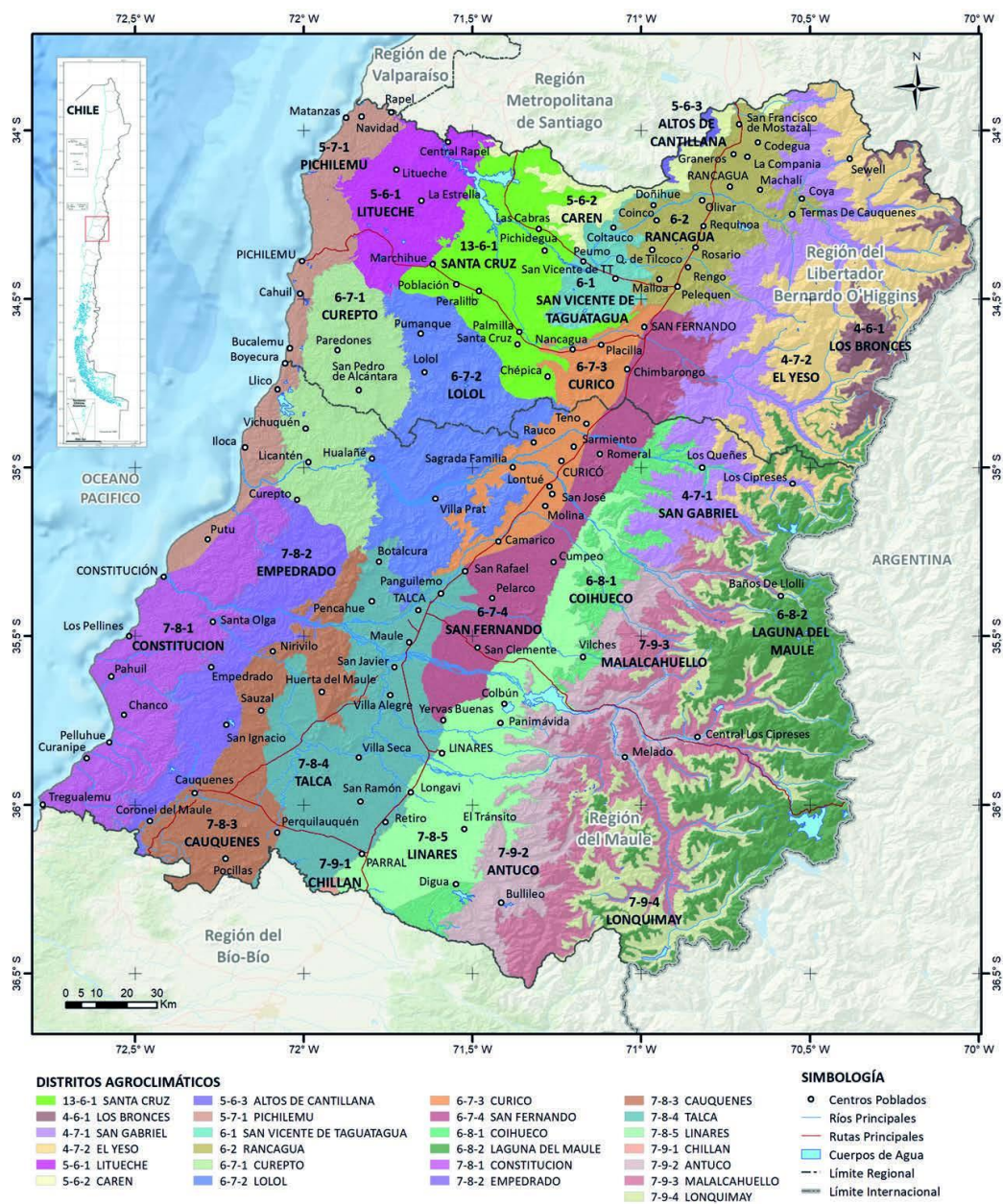


Figura 11. Distrito agroclimático de O'Higgins y el Maule. Fuente: AGRIMED (201?).

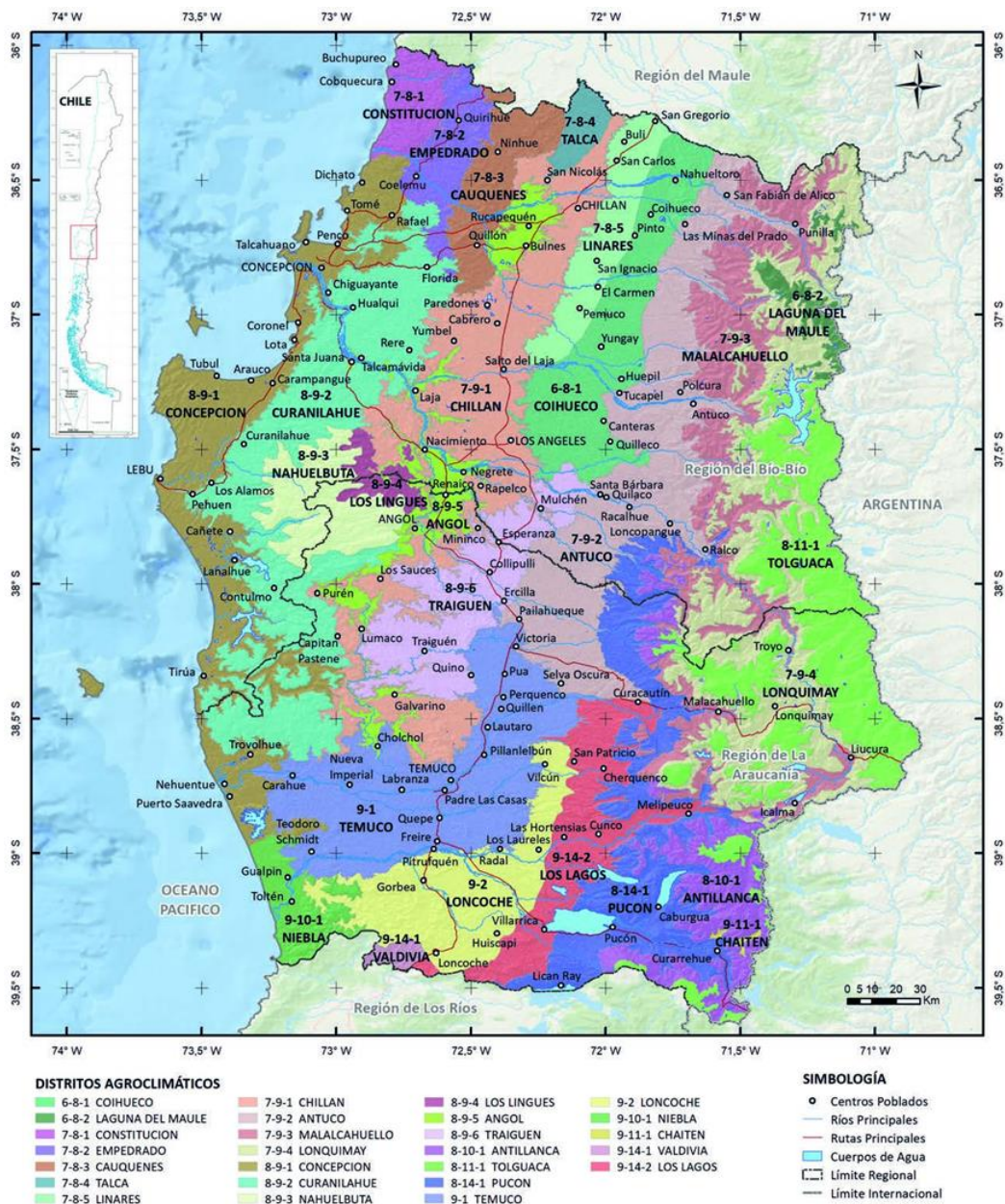


Figura 12. Distrito agroclimático de Ñuble, Biobío y Araucanía. Fuente: AGRIMED (201?).

La sectorización de las áreas agroclimáticas se realizó a partir de la cercanía con la estación meteorológica y la ubicación de los pivotes y avances frontales de riego, como se puede observar en Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones agrometeorológicas seleccionadas para el sitio de estudio.

N° Sitio	Nombre Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (m.s.n.m.)
1	Yerbas Buenas Liceo Agrícola (FDF)	-35,74722	-71,58222	156
2	Linares, Miraflores	-35,91805	-71,61333	172
3	Longaví Norte	-36,03694	-71,68333	172
4	Retiro, Parral Norte	-36,23028	-71,73222	210
5	Coihueco	-36,55722	-71,81722	228
6	San Nicolas	-36,51778	-72,09472	129
7	Bulnes	-36,73555	-72,36694	76
8	Los Ángeles - Human I.N.I.A	-37,43361	-72,24389	195
9	Mulchén	-37,70361	-72,21694	184

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil (2020).

De este grupo de estaciones agrometeorológicas se obtiene datos de altura sobre el nivel del mar, temperatura del aire, velocidad de viento, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, entre otras.

3.2 Imágenes satelitales

Para el análisis se utilizaron 34 imágenes multiespectrales obtenidas del satélite Landsat-8 (L8) (nivel de procesamiento L1T, calibradas radiométricamente y orto-rectificadas) (USGS 2019). Las imágenes fueron descargadas del servidor USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) (USGS, 2019). El periodo de estudio corresponde entre los meses de septiembre de 2019 y junio del 2020. En la Tabla 3 se presentan las características de las bandas que componen el satélite Landsat 8 (L-8).

Tabla 2. Características técnicas del satélite L-8.

Landsat-8 OLI			
	Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución Geométrica (m)
B1:	Coastal	0,43-0,45	30
B2:	Blue	0,45-0,51	30
B3:	Green	0,53-0,59	30
B4:	Red	0,64-0,67	30
B5:	NIR	0,85-0,88	30
B6:	SWIR 1	1,57-1,65	30
B7:	SWIR 2	2,11-2,29	30
B8:	Pan	0,50-0,68	15
B9:	Cirrus	1,36-1,38	30
B10:	TIRS 1	10,6-11,19	100
B11:	TIRS 2	11,5-12,51	100

Fuente: USGS (2019).

Landsat 8, tiene una disponibilidad de imágenes satelitales de la misma zona en periodos de 16 días, esto quiere decir que, si existe una imagen el día 4 de septiembre, el satélite obtendrá otra imagen el día 20 de septiembre en la misma zona geográfica.

4. METODOLOGÍA

4.1 Base de datos

La base de datos de las estaciones agrometeorológicas a analizar se encuentra en la página de agrometeorología de INIA Quilamapu (INIA, 2019). Además, se adquirieron las imágenes satelitales en el periodo de estudio las que son proporcionadas por el satélite Landsat 8 (USGS, 2019; USGS, 2020).

4.2 Datos de estudio

En las siguientes Tablas 3 y 4 se encuentran las fechas y otras características importantes de las imágenes que fueron utilizadas para la obtención de los valores ET_c y K_c reales.

Tabla 3. Código de imagen, PATH, ROW, fecha y porcentaje de nubosidad (metadatos) de las imágenes a utilizar en temporada (sep-2019 a jun-2020).

Código de Imagen	PATH	ROW	Fecha (dd-mm-yyyy)	Nubosidad (%)	Uso
LC82330852019247LGN00	233	85	04-09-2019	82,24	No
LC82330852019263LGN00	233	85	20-09-2019	3,54	Si
LC82330852019279LGN00	233	85	06-10-2019	58,74	No
LC82330852019295LGN00	233	85	22-10-2019	2,45	Si
LC82330852019311LGN00	233	85	07-11-2019	1,89	Si
LC82330852019327LGN00	233	85	23-11-2019	65,91	No
LC82330852019343LGN00	233	85	09-12-2019	2,46	Si
LC82330852019359LGN00	233	85	25-12-2019	0,35	Si
LC82330852020010LGN00	233	85	10-01-2020	0,35	Si
LC82330852020026LGN00	233	85	26-01-2020	10,74	Si
LC82330852020042LGN00	233	85	11-02-2020	1,40	Si
LC82330852020058LGN00	233	85	27-02-2020	0,49	Si
LC82330852020074LGN00	233	85	14-03-2020	1,21	Si
LC82330852020090LGN00	233	85	30-03-2020	0,37	Si
LC82330852020106LGN00	233	85	15-04-2020	45,09	No
LC82330852020122LGN00	233	85	01-05-2020	6,36	Si
LC82330852020138LGN00	233	85	17-05-2020	26,49	No

Estos datos corresponden al PATH 233 y ROW 85, región del Maule y región de Ñuble (que abarca desde el Sitio 1 hasta el Sitio 6).

Tabla 4. Código de imagen, PATH, ROW, fecha y porcentaje de nubosidad (metadatos) de las imágenes a utilizar en temporada (sep-2019 a jun-2020).

Código de Imagen	PATH	ROW	Fecha (dd-mm-yyyy)	Nubosidad (%)	Uso
LC82330862019247LGN00	233	86	04-09-2019	81,37	No
LC82330862019263LGN00	233	86	20-09-2019	8,13	Si
LC82330862019279LGN00	233	86	06-10-2019	85,63	No
LC82330862019295LGN00	233	86	22-10-2019	1,83	Si
LC82330862019311LGN00	233	86	07-11-2019	32,19	Si
LC82330862019327LGN00	233	86	23-11-2019	67,42	No
LC82330862019343LGN00	233	86	09-12-2019	0,43	Si
LC82330862019359LGN00	233	86	25-12-2019	0,31	Si
LC82330862020010LGN00	233	86	10-01-2020	0,12	Si
LC82330862020026LGN00	233	86	26-01-2020	57,44	No
LC82330862020042LGN00	233	86	11-02-2020	0,07	Si
LC82330862020058LGN00	233	86	27-02-2020	3,47	Si
LC82330862020074LGN00	233	86	14-03-2020	0,06	Si
LC82330862020090LGN00	233	86	30-03-2020	3,42	Si
LC82330862020106LGN00	233	86	15-04-2020	58,05	No
LC82330862020122LGN00	233	86	01-05-2020	7,24	Si
LC82330862020138LGN00	233	86	17-05-2020	21,92	Si

Estos datos corresponden al PATH 233 y ROW 85, región de Ñuble y región del Biobío (que comprende desde el sitio 7 hasta el sitio 9).

Para la Tabla 3 y la Tabla 4, la última columna corresponde a la decisión de incluir dicha imagen al procesamiento y posterior obtención de ETc y Kc reales, esto debido a que un exceso de nubosidad causará error en el procesamiento de los datos y los valores obtenidos mediante el ajuste lineal contendrán un error que distorsionaría los valores reales. Es importante destacar que las imágenes para el mes de junio no fueron incluidas debido al porcentaje elevado de nubosidad (>90%). Mediante todas las medidas

anteriores se dispone de un total de 24 imágenes para el procesamiento de datos. Las cuales se encuentran en la siguiente tabla de datos:

4.3. Modelo de FAO-Penman Monteith

La evapotranspiración (ET) es el proceso simultáneo de evaporación y transpiración, se habla de este concepto en conjunto debido a que no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos (Fonseca, 2015).

Las componentes de la ET cambian en relación a la cobertura foliar por unidad de superficie de suelo (IAF), es así como en el momento de la siembra, aproximadamente el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que si la cobertura vegetal es completa (madurez fenológica del cultivo), > 90% de la ET ocurre en forma de transpiración.

La evapotranspiración de referencia (ET_r) se introdujo para estudiar la demanda de ET de la atmosfera para un cultivo corto (pasto de 0 a 0.4 m de altura) o largo (alfalfa de 0.5 m de altura), para posteriormente relacionarlo al tipo y desarrollo del cultivo estudiado, y de las prácticas de manejo. Los únicos factores que afectan la ET_r son las variables climáticas.

El método FAO-PM ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ET_r de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos (FAO 56, 2006).

La ET_r hace diferencia entre evapotranspiración de referencia para pasto corto ($ET_{r\text{corto}}$) empastada de < 0,5 m de alto y evapotranspiración de referencia pasto largo ($ET_{r\text{largo}}$) alfalfa de > 0,5 m de altura. Para determinar la ET_r se utiliza el método estandarizado de la FAO, Penman-Monteith (FAO-PM), que se puede expresar como:

$$ET_r = \frac{0,408 \cdot S \cdot (R_N - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{S + \gamma \cdot (1 + Cd \cdot U_2)} \quad [1]$$

Donde:

ET_r : Evapotranspiración de referencia para cultivo corto ($ET_{r\text{corto}}$) o alto ($ET_{r\text{largo}}$) (mm día^{-1}).

R_N : Radiación neta al tope de la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

G : Densidad de flujo de calor en el suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

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

U_2 : Velocidad del viento horaria o diaria medida a 2 m de altura (m s^{-1})

e_s : Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire medido entre 1,5 a 2 m de altura (kPa).

e_a : Presión de vapor actual medida entre 1,5 a 2 m de altura (kPa).

S : Pendiente de la curva de saturación de vapor a la temperatura media del aire ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

γ : Constante psicométrica ($0,0665 \text{ kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Los valores de C_n y Cd , se pueden obtener a partir de la siguiente tabla.

Tabla 5. Valores de C_n y C_d en la Ec 1.

Paso de tiempo para cálculo	Referencia pasto corto $ET_{r\text{corto}}$		Referencia pasto largo $ET_{r\text{largo}}$		Unidades para $ET_{r\text{corto}}, ET_{r\text{largo}}$	Unidades para RN y G
	C_n	C_d	C_n	C_d		
Diario	900	0,34	1600	0,38	mm día ⁻¹	MJ m ⁻² día ⁻¹
Hora a Hora durante el día	37	0,24	66	0,25	mm h ⁻¹	MJ m ⁻² h ⁻¹
Hora a Hora durante la noche	37	0,96	66	1,7	mm h ⁻¹	MJ m ⁻² h ⁻¹

Fuente: Walter & Allen (2005)

La altura de referencia del cultivo descrito en la Tabla 1 tiene las siguientes consideraciones: altura 0,12 m para $ET_{r\text{corto}}$, altura de $\geq 0,50$ m para $ET_{r\text{largo}}$.

4.4. Determinación de Evapotranspiración de cultivo (ETc)

El valor de ET_c es calculado a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en ET_r y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente K_c mediante la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c \cdot ET_r \quad [2]$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración de cultivo (mm día⁻¹).

K_c : Coeficiente de cultivo (adimensional).

ET_r : Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹).

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del cultivo. El coeficiente de cultivo (K_c) incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la planificación normal del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico, los coeficientes promedios del cultivo son apropiados y más convenientes que los valores de K_c calculados con base diaria usando coeficientes separados de cultivo y suelo.

El valor de K_c será obtenido de 3 maneras diferentes, uno es a partir de la Tabla 1 (FAO 56, 2006), el segundo a partir de la Figura 13 y el tercer método es a partir del análisis de las imágenes satelitales.

Para el cultivo de remolacha azucarera es necesario obtener el coeficiente de cultivo (K_c) el cual se encuentra en la (FAO 56, 2006), descrito en la siguiente tabla:

Tabla 6. Factor de cultivo inicial (K_{Cini}), factor de cultivo de máxima demanda de agua (K_{Cmed}) y factor de cultivo final (K_{Cfin}), para la remolacha azucarera en Chile (cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos) ($HR_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$).

Cultivo	K_{Cini}	K_{Cmed}	K_{Cfin}	Altura máxima de cultivo (m)
Remolacha azucarera	0,35	1,20	0,70	0,50

Fuente: FAO 56 (2006).

Coeficiente de cultivo

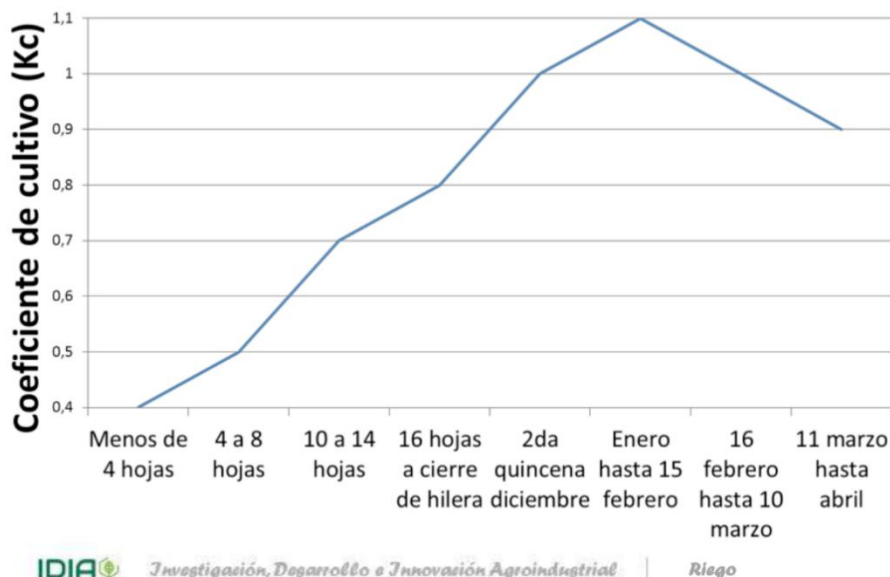


Figura 13. Valores de Kc para las distintas etapas fenológicas de la remolacha azucarera utilizados por IANSA. Fuente: IDIA, IANSA (2019).

4.5. Obtención de ETc actual

El uso de técnicas de teledetección junto a herramientas de pronóstico meteorológico ajustadas a las condiciones regionales permite determinar la ETc actual y optimizar mediante estos resultados el uso del agua de diferentes zonas del predio.

La ETc actual se obtiene a partir del análisis de imágenes satelitales de las zonas de estudio, mediante el uso del programa AQUASAT (metodología METRIC), el cual permite la obtención de ETc y Kc actuales para cualquier cultivo (Holzapfel *et al.*, 2020). El análisis es realizado en el entorno de programación MATLAB.

El modelo METRIC fue desarrollado por (Allen et al., 2005). Este modelo determina la ETc actual de los cultivos empleando técnicas de teledetección, basándose en un balance de energía superficial, donde el flujo de calor latente (λE) se obtiene como un residual de la ecuación del balance de energía (Gordillo *et al.*, 2014) (Ecuación 3).

$$\lambda E = Rn - G - H \quad [3]$$

Donde:

λE : Flujo de calor latente ($W m^{-2} dia^{-1}$).

Rn : Radiación neta ($W m^{-2} dia^{-1}$).

G : Flujo de calor en el suelo ($W m^{-2} dia^{-1}$).

H : Flujo de calor sensible entre la superficie y atmósfera ($W m^{-2} dia^{-1}$).

4.6. Análisis de los datos

MATLAB es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M) el cual posee una cantidad de funciones para resolver problemas matemáticos, automatización, diseños de sistemas, teledetección, entre otros. Específicamente se utilizó una codificación ya implementada de AQUASAT y de esta manera obtienen los valores de ETc y Kc actuales.

En la Figura 14 se muestra la carta de flujo para calcular ETc y Kc bajo las condiciones de manejo del pivote, donde se utilizan los datos del satélite

Landsat 8 (L8) para posteriormente realizar el proceso de las imágenes. La resolución espacial de L8 es de 30 m por 30 m.

Luego de ello se realiza un ajuste lineal entre los mapas de índice de vegetación de diferencia normalizada ($NDVI_{L8}$). El subíndice L8 representa el satélite utilizado.

De esta manera, se puede generar una serie temporal de NDVI la cual está compuesta por los mapas de $NDVI_{L8}$, para posteriormente estimar la ET tomando las ecuaciones de ajuste lineal de ET_{L8} y $NDVI_{L8}$. Luego se obtiene la ET_{L8} integrando los ajustes lineales. Finalmente se obtiene ET_c y K_c actuales durante la temporada del cultivo de remolacha azucarera 2019-2020.

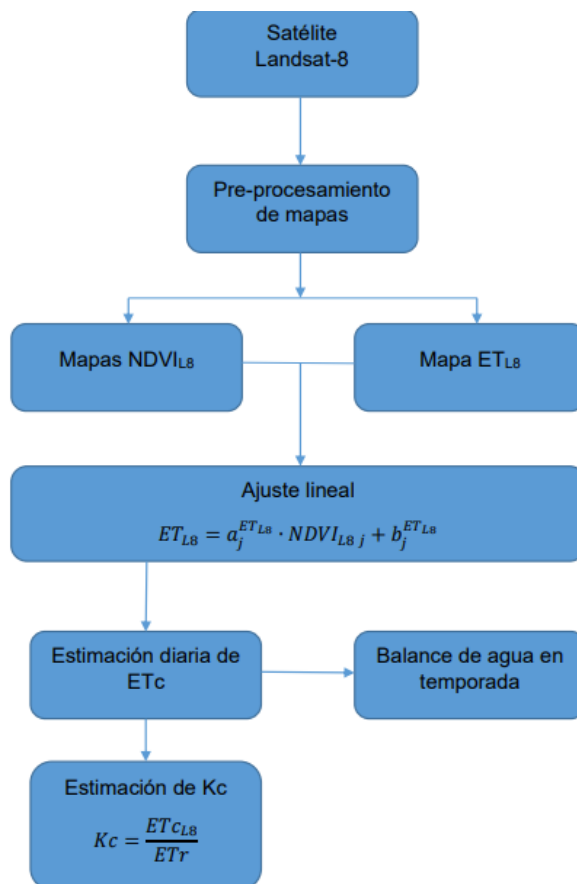


Figura 14. Diagrama de flujo de la metodología propuesta.

4.7. Procesamiento de las imágenes satelitales

Para realizar el análisis de las imágenes satelitales se requiere primero realizar el preprocesado de dichas imágenes (Figura 14) a las bandas espectrales del satélite L8. Para esto se realizó la conversión a reflectancia y corrección atmosférica (Aguirre, 2017), en donde se utilizó la metodología de trabajo propuesta por Gavilán (2019) quien describe el esquema de trabajo utilizando los satélites Landsat 8.

Para la corrección atmosférica fue necesario utilizar el método denominado Sustracción del objeto oscuro (DOS) la cual es un método de corrección atmosférica empírica simple para la imagen satelital a utilizar (Aguilar *et al.*, 2014).

Se utilizó la fusión de imágenes, la que permite mezclar, a nivel de píxel las virtudes de diversas imágenes, dichas imágenes pasaron de representar 30 metros por 30 metros a bloques de píxel de 15 metros por 15 metros, se busca mejorar la resolución espacial de una imagen multiespectral así pasando a un resultado de mejor definición (Muñoz Aguayo, 2013).

Es necesario utilizar QGIS 3.1.6 (software de código abierto), ya que permite generar tablas de atributos y obtener los valores de Kc necesarios para obtener el valor de ETc actual de cada pivote y esto se logra a partir del módulo SCP (Semi-Automatic Classification Pluggin), (Congedo, 2013).

Se obtienen los mapas de NDVI del Satélite L8 en los sitios de estudios para la temporada 2019-2020, en donde se aplicó la siguiente Ecuación 4.

$$NDVI_{L8} = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \quad [4]$$

Donde

NDVI_{L8}: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

B4 : Banda del rojo.

B5 : Banda del infrarrojo cercano.

Las imágenes utilizadas se encuentran entre las fechas 01 de septiembre de 2019 hasta el 30 de junio de 2020 con un intervalo entre imágenes de 16 días de acuerdo con Ke *et al.* (2015). Adicionalmente, las imágenes seleccionadas estuvieron sujetas a los siguientes criterios.

- Zona de estudio: Involucra tres regiones de Chile, por esto fue necesario obtener las imágenes satelitales con PATH:233, ROW:85 y 86.
- Nubosidad presente: Cuando la nubosidad en la zona de estudio es >50% las imágenes son descartadas.

Con el procesamiento de las imágenes se genera el ajuste lineal (Ecuación 5) que permite calcular ET_{L8} (Tabla 5) para la temporada 2019-2020 utilizando la metodología METRIC la cual fue propuesta por Allen *et al.*, (2007) e implementada en investigaciones como: Fonseca, (2015) y Gavilán, (2019).

Entonces, las ecuaciones de ajuste se obtuvieron específicamente para el cultivo de remolacha azucarera y para cada imagen de forma independiente de L8 utilizadas para el análisis de la temporada.

$$ET_{L8,j} = a_j^{ET_{L8}} \cdot NDVI_{L8,j} + b_j^{ET_{L8}} \quad [5]$$

Donde

j : Corresponde al número de imágenes satelitales L8.

$a_j^{ET_{L8}}$: Coeficiente de ajuste lineal (mm día⁻¹).

$b_j^{ET_{L8}}$: Coeficiente de ajuste lineal (mm día⁻¹).

$NDVI_{L8,j}$: Índice de vegetación de diferencia normalizada (adimensional).

De esta manera cada mapa de ET_{L8} y $NDVI_{L8}$ en la temporada presenta diferentes ecuaciones de ajuste (una para cada mapa).

Para poder determinar la evapotranspiración diaria durante la temporada fue necesario obtener el coeficiente de cultivo (K_c). El valor de K_c se define como el cociente entre la ET_{L8} estimada en cada una de las imágenes L8 y la ET_r . La ET_r es estimada a partir de los datos suministrados por las estaciones agrometeorológicas (Tabla 1).

Los datos meteorológicos fueron utilizados en el modelo de Penman Monteith (FAO 56, 2006). El K_c de la serie temporal m se puede calcular según Ecuación 6.

$$K_{Cm} = \frac{ET_{L8,m}}{ET_{r_m}} \quad [6]$$

4.8. Balance anual de agua aplicada

El balance anual de agua durante la temporada agrícola se determina y evalúa de acuerdo con la demanda de agua estimada, la demanda potencial

y la demanda de agua por IANSA para cada pivote según las Ecuaciones 7, 8 y 9, respectivamente.

$$Demanda\ estimada_m = \sum_{d=1}^n (ETc)_m^n \quad [8]$$

$$Demanda\ potencial_m = \sum_{d=1}^n (ETp)_m^n \quad [8]$$

$$Demanda\ IANSA_m = \sum_{d=1}^n (ET_{IANSA})_m^n \quad [9]$$

Donde

d : Corresponde al día de inicio (01 de septiembre de 2019).

n : Corresponde al día de término (30 de junio de 2020).

Para la evaluación de la demanda de agua estimada y los volúmenes de agua aplicada durante la temporada de riego se consideraron todos los pivotes en estudio y se cotejaron con el volumen de agua aplicada por cada pivote (suministrados por los diferentes predios), permitiendo hacer los análisis estadísticos entre estas variables (Gavilán, 2019).

4.9. Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los datos se realiza a través del error cuadrático medio (RMSE) y la desviación estándar (SD).

La siguiente ecuación representan estos 2 parámetros mencionados anteriormente:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(Demanda\ estimada - Valor\ observado)^2}{N}} \quad [10]$$

Donde

Demanda estimada : Corresponde al valor de la demanda estimada para la remolacha azucarera (mm).

Valor observado : Corresponde al volumen aplicado para la remolacha azucarera (mm).

N : Corresponde al número de días de riego (temporada).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestra un resumen de los pivotes utilizados para el análisis de agua aplicada en el sitio de estudio.

Tabla 7. Pivote número (N°), Sitio de estudio (Sitio), Agua aplicada (mm temporada⁻¹), precipitación efectiva (PP) (mm temporada⁻¹), Total recarga (mm temporada⁻¹), y ETc actual (mm temporada⁻¹) para la temporada 2019-2020, con cultivos de remolacha azucarera.

N°	Sitio	Agua Aplicada	PP	Total recarga	ETc
1	1	579	125	705	734
2	2	534	277	811	772
3	3	112	136	247	646
4	3	291	136	427	621
5	3	1603	176	1779	640
6	3	865	178	1043	658
7	3	617	141	758	684
8	3	900	136	1035	670
9	3	422	141	563	682
10	3	681	141	823	666
11	4	166	127	294	581
12	4	1607	128	1735	525
13	5	784	226	1010	921
14	6	662	127	789	740
15	6	499	127	626	785
16	6	701	112	813	799
17	6	430	112	542	803
18	6	590	127	717	756
19	6	560	126	686	707
20	6	163	127	290	723
21	6	649	112	761	738
22	6	926	127	1053	705
23	7	309	187	496	786
24	7	327	187	514	771
25	8	743	224	967	691
26	8	208	249	457	682
27	8	453	237	690	697
28	8	401	263	663	704
29	8	347	263	611	701
30	8	409	263	672	713
31	9	532	384	916	759

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 7, podemos observar la lámina de agua total aplicada por temporada, además de la precipitación efectiva, la suma de ambas es la lámina total de agua en los pivotes con cultivos de remolacha, ya que considera la recarga efectiva de agua en la zona de estudio (pivotes de riego). Además, se muestra la ETc acumulada por temporada 2019-2020 de cada pivote de riego.

La ETc actual y la demanda de agua por pivote puede observarse en la Figura 15 y 16, respectivamente.

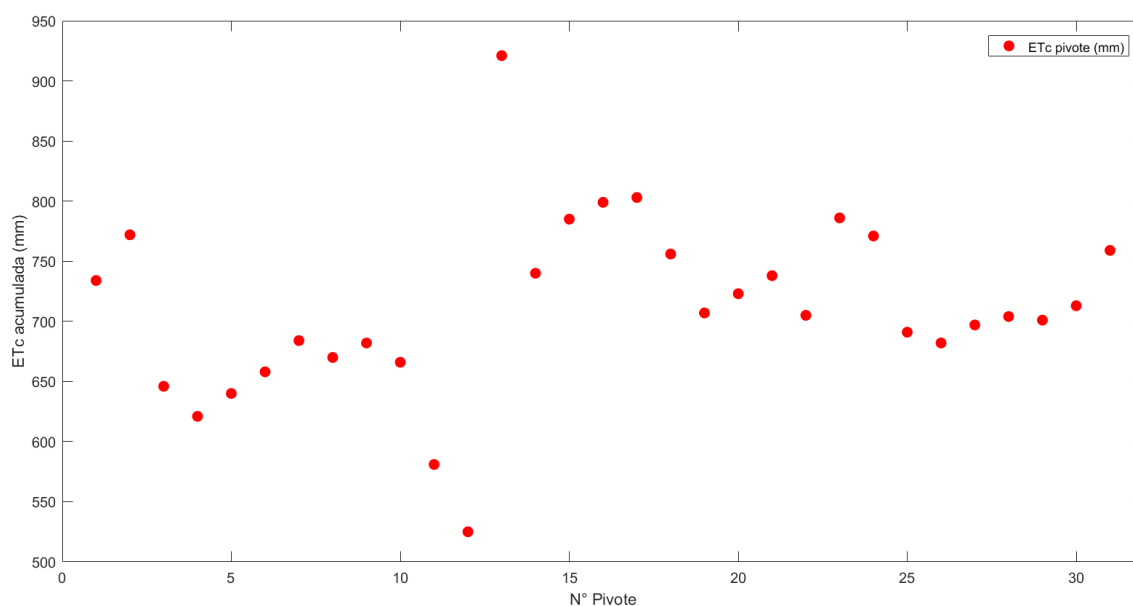


Figura 15. ETc actual acumulada para cada pivote de riego. Fuente: Elaboración propia

A partir de la Figura 15, se pueden extraer de manera implícita algunos datos de interés, los que son:

Promedio de ETc actual : 711,6 mm

Desviación estándar : 73,9 mm

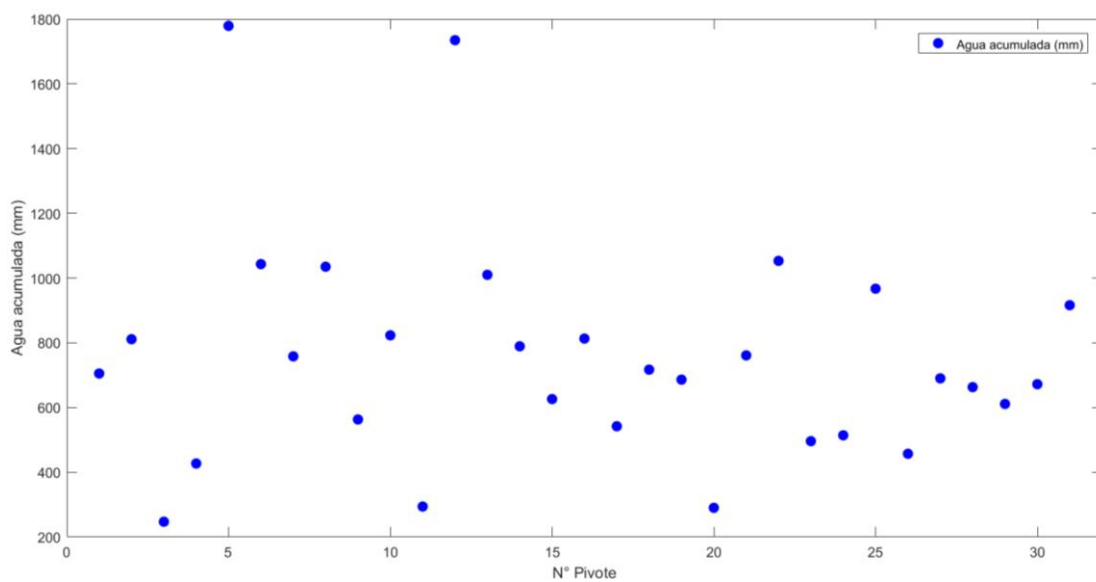


Figura 16. Agua acumulada para cada pivote de riego. Fuente: Elaboración propia

Igualmente, se tienen los siguientes datos de interés de manera implícita a partir de la Figura 16.

Promedio Agua acumulada : 757,8 mm

Desviación estándar : 344,6 mm

Con los datos de cada pivote, se elaboraron gráficos 1:1 para visualizar el comportamiento entre ambas variables.

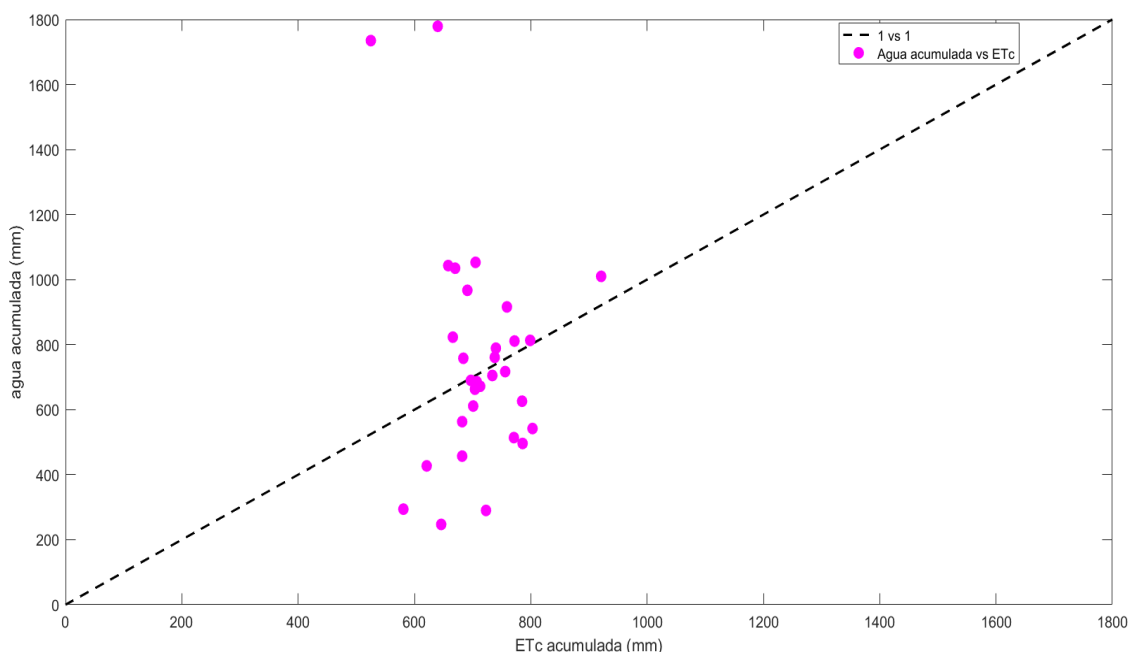


Figura 17. Comparación del agua acumulada (mm) y ETc actual acumulada (mm) para cada pivote de riego. La línea discontinua corresponde a 1:1.

Con todas estas consideraciones anteriores se debió utilizar los gráficos acumulados diarios, de esta manera se pudo observar distribución de agua acumulada ETc. Además, los pivotes riegan el cultivo de remolacha azucarera, sin embargo, cada uno tiene manejos de riego diferentes entre sí, por lo que es recomendable contar con información de cada pivote, y así realizar un análisis más preciso individual.

En algunos pivotes de riego, no se utilizó la totalidad de la superficie cultivable en remolacha azucarera, ya que existían zonas del pivote donde se implementaron otros cultivos diferentes a la remolacha azucarera, o bien, fueron superficies no cultivadas.

A continuación, en la Tabla 8 se muestran los volúmenes de agua por temporada de riego (2019-2020). El riego y la precipitación que conforman el agua total aplicada en cada pivote de riego son consideradas entre las fechas de siembra y cosecha, sin embargo, no todos los equipos tienen fecha de cosecha el 30 de junio del 2020, sino que mucho antes (por ejemplo, mayo del 2020), por ello se realiza un análisis diferenciado en función de la siembra y cosecha en cada equipo.

Tabla 8. Superficie regada, riego, precipitación, total agua aplicada y ETc actual de cada pivote durante la temporada (septiembre 2019 a mayo 2020).

Nº Pivote	Superficie regada (ha)	Riego (m ³)	Riego (mm)	Precipitación (mm)	Total agua aplicada (mm)	ETc actual (mm)
1	38,93	225737	579	125	705	734
2	40,92	218303	534	277	811	772
3	17,84	19944	112	136	247	646
4	105,36	306676	291	136	427	621
5	17,80	285440	1603	176	1779	640
6	36,55	316045	865	178	1043	658
7	54,37	335657	617	141	758	684
8	86,95	782036	900	136	1035	670
9	33,98	143466	422	141	563	682
10	16,20	110363	681	141	823	666
11	101,74	73136	166	127	294	581
12	50,24	807344	1607	128	1735	525
13	67,34	528167	784	226	1010	921
14	56,34	372939	662	127	789	740
15	71,01	354112	499	127	626	785
16	28,26	198231	701	112	813	799
17	55,76	239751	430	112	542	803
18	45,60	268910	590	127	717	756
19	22,24	124525	560	126	686	707
20	107,91	175974	163	127	290	723
21	22,22	144269	649	112	761	738
22	41,96	388623	926	127	1053	705
23	87,25	269180	309	187	496	786
24	52,56	171691	327	187	514	771
25	66,00	491988	743	224	967	691
26	44,44	92279	208	249	457	682
27	34,11	154546	453	237	690	697
28	33,00	133264	401	263	663	704
29	37,40	129855	347	263	611	701
30	40,02	163799	409	263	672	713
31	109,07	579761	532	384	916	759

Fuente: Elaboración propia.

Al corregir los datos de precipitaciones de agua en cada pivote, se tiene el agua aplicada que corresponde hasta el término de temporada (cosecha) (Figura 17). Si bien es cierto que los pivotes tienen demandas diferentes de agua debido a la variación de su superficie cultivada por remolachas como el clima que predomina en cada uno de ellos, dichos valores son bastante similares.

De Figura 17 se observa que la sumatoria de riego y precipitación son la lámina de agua que fue recibida por el cultivo en toda la temporada.

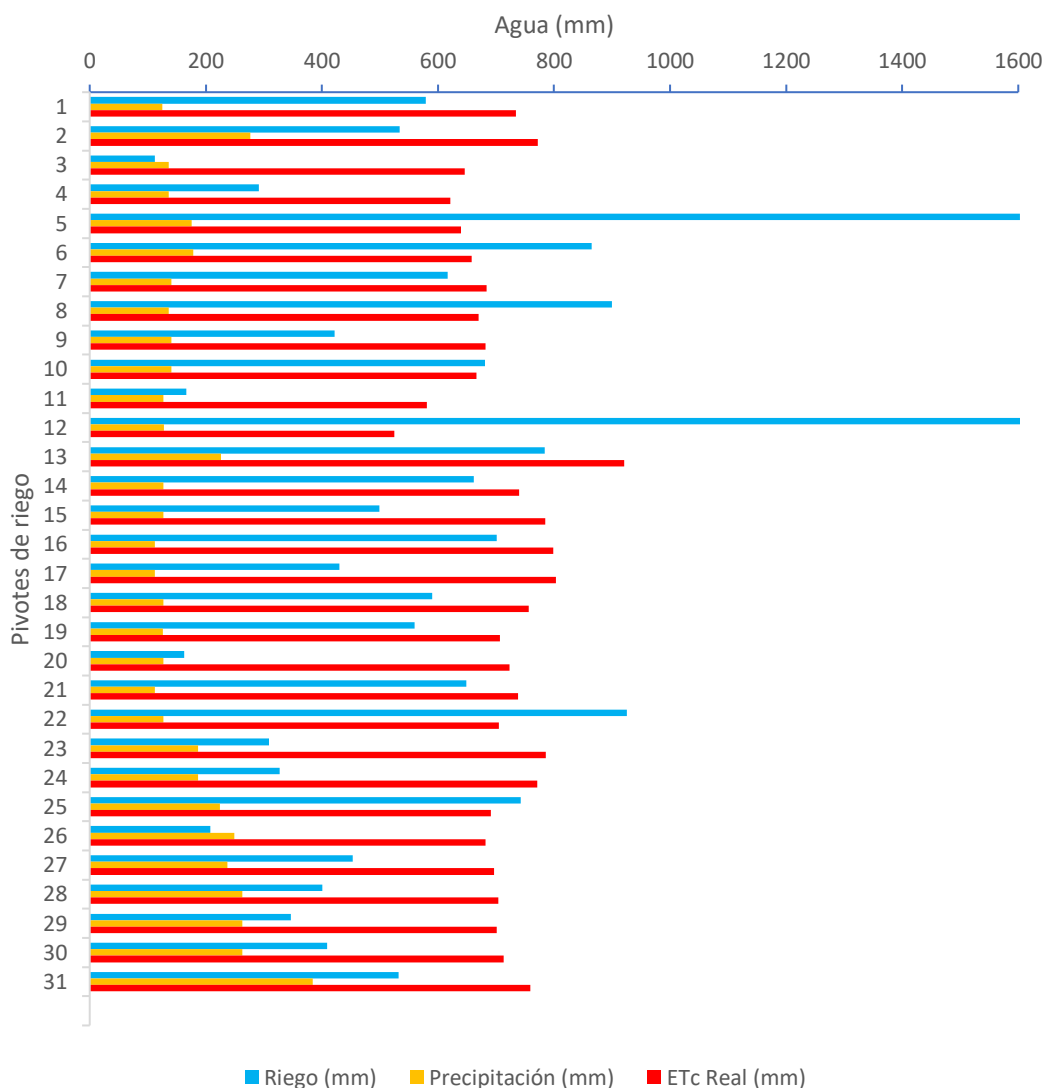


Figura 18. Riego y precipitación (mm), de cada pivote analizado durante la temporada 2019-2020. Fuente: Elaboración propia.

La ETc bajo condiciones de manejo actual (mm) como el total de agua aplicada en toda la temporada de riego (2019-2020) nos permite definir el verdadero comportamiento y distribución de agua de riego en cada pivote. Mediante el análisis de los resultados obtenidos por el programa AQUASAT implementado en MATLAB, se pudo generar una serie de datos que

permitieron realizar un análisis de las situaciones de cada pivote de riego, los cuales son mostrados a continuación por región.

Se puede asumir intuitivamente que la zona central debiese poseer valores superiores de ETc del mismo cultivo en comparación a la zona centro sur, sin embargo, la Tabla 8 nos muestra que los valores de ETc actual son similares entre sí, incluso superiores a la media de la zona centro sur en comparación a los pivotes ubicados más al norte. Esto implica que no sólo la zona geográfica es importante para determinar la ETc y Kc actuales de algún cultivo en específico, más bien es necesario considerar otras variables como lo son: clima, radiación solar, y además muy importante la cobertura del cultivo, situación que ha sido estudiada en (Souto *et al.*, 2019).

5.1 Región del Maule

5.1.1 Pivote 1

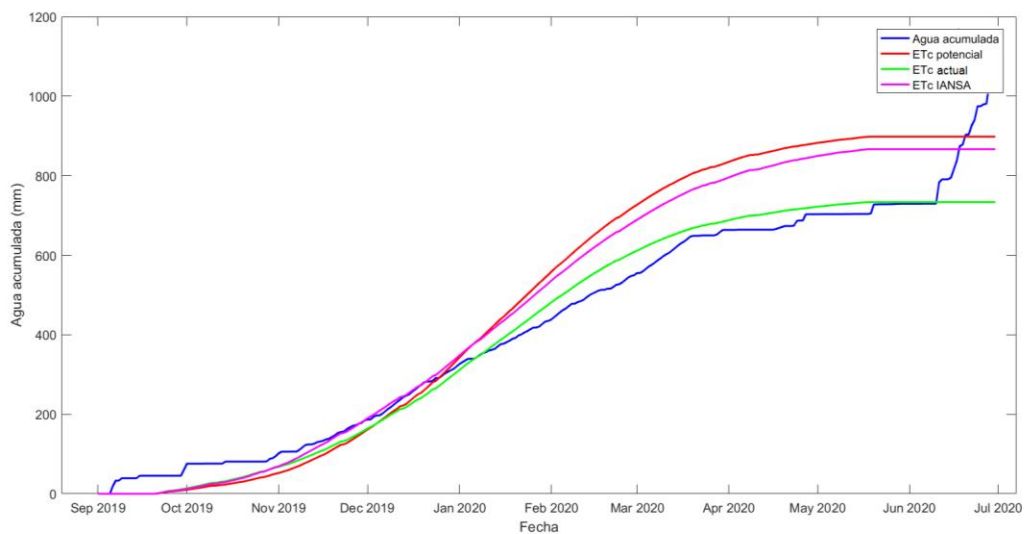


Figura 19. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “1”, perteneciente al sector 1 (Región del Maule).

Fuente: Elaboración propia.

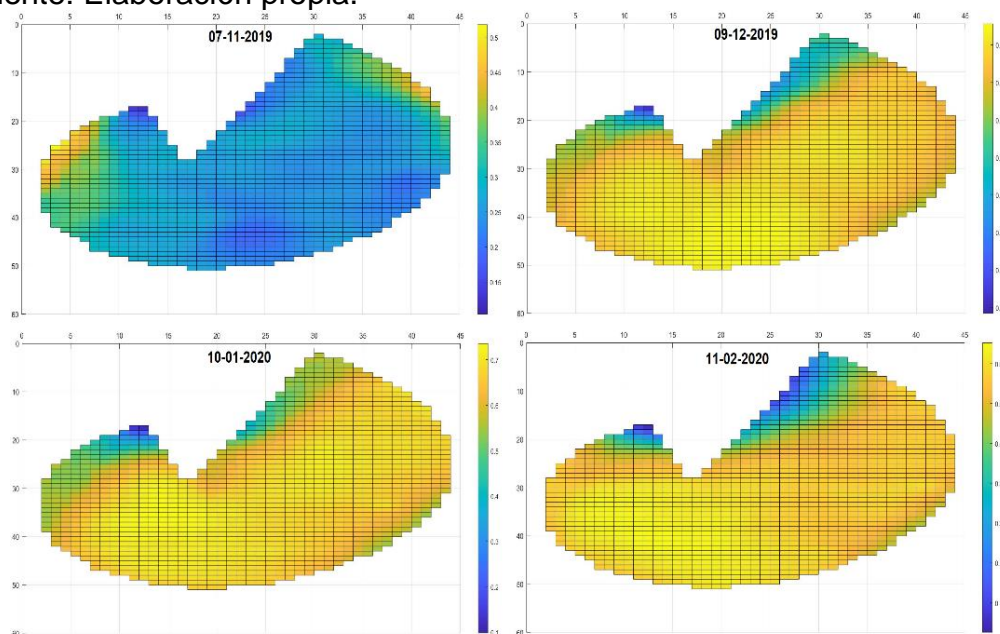


Figura 20. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c) por píxeles en pivote “1”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

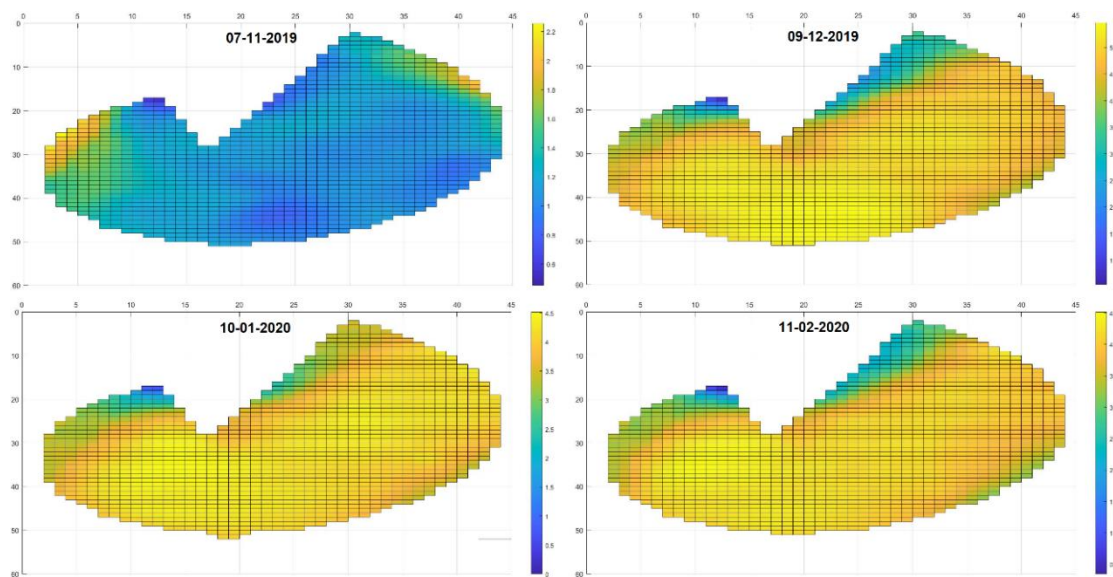


Figura 21. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc) por píxeles en pivote "1", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

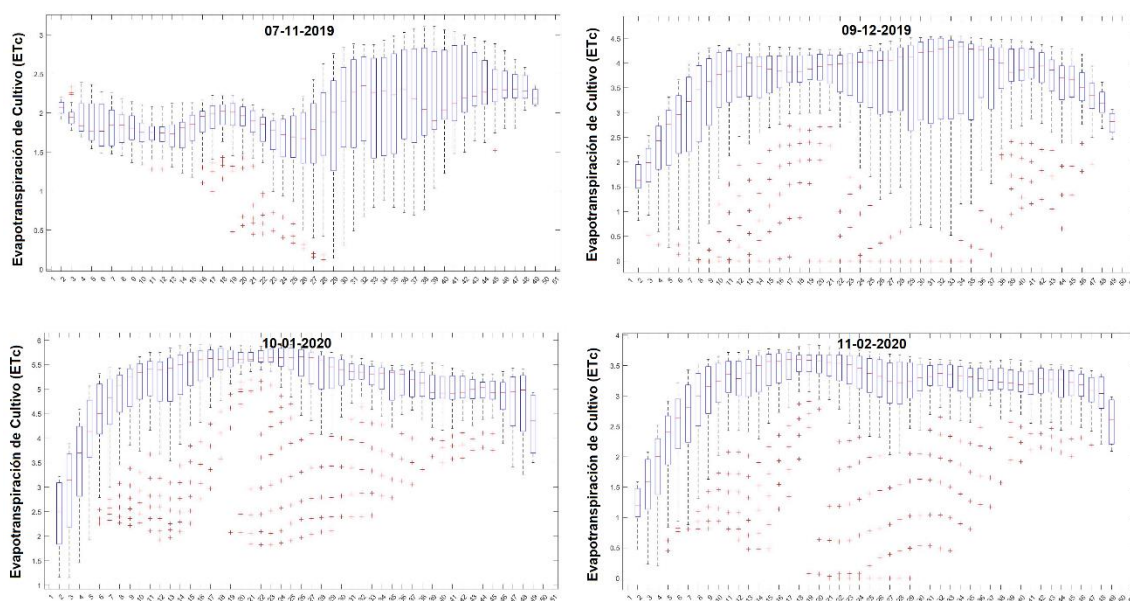


Figura 22. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc) en pivote "1", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 19, que el agua acumulada es levemente inferior a las curvas de ETc actual y ETc IANSA, la cual mantiene un comportamiento de recarga gradual a lo largo de la temporada (debido al riego de temporada y recarga de precipitaciones). Se observa, además, que en los meses de mayo y junio del 2020 hubo un salto prácticamente exponencial del agua acumulada, esto se debió a que este mes concentra la mayor cantidad de precipitación de la temporada.

En cuanto a la Figura 20, se observa el cambio de Kc actual a lo largo de la temporada productiva. En el mes de noviembre de 2019 existen valores promedio de 0,5 (Tabla 11), donde la remolacha se encuentra en el proceso fenológico culmine de germinación, en los meses siguientes la demanda de agua aumenta considerablemente debido a que se encuentra cercano a la maduración y en donde ha aumentado su tasa metabólica demandando una mayor cantidad de agua (Valores de Kc aproximadamente 0,85 a 0,96).

La Figura 21 nos mostró los valores de ETc actual obtenidos en el procesamiento de los datos de este “pivote 1”, inicialmente los valores de ETc son valores relativamente bajos 1,5 a 2 mm día⁻¹, pero a medida que la demanda aumenta y llega a su máximo nivel de producción (valores de 4,5 a 5,7 mm día⁻¹). Valores razonables, ya que alcanza una ETc acumulada por temporada de 734 mm.

La Figura 22 consta de la división del “pivote 1” en columnas con ancho de píxel (15 m en el eje x), resultantes del procesamiento de los datos, y podemos interpretar un comportamiento bajo en los extremos (valores por debajo de los 3 mm día⁻¹ promedio. Esto se debe a que en los extremos probablemente existía una consideración de las cabeceras de dicho terreno agrícola las cuales no fueron descontadas de manera correcta al realizar el trazado del sector de cultivo y riego (pudiendo haber interferido en los resultados finales del análisis de riego y obtención de ETc actual).

Podemos agregar, además, que el rendimiento de remolacha fue de 102,42 ton ha⁻¹ limpia.

5.1.2 Pivote 2

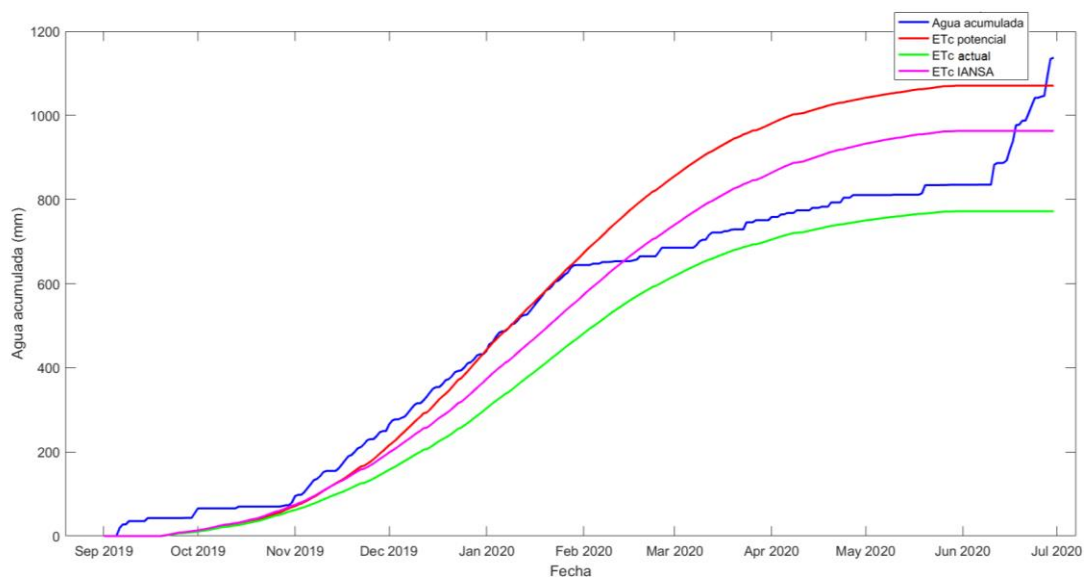


Figura 23. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “2”, perteneciente al sector 2 (Región del Maule).
Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 23, que el agua acumulada en primera instancia sigue la curva de ETc potencial, pero hay un brusco descenso del agua aplicada en el mes de enero de 2020, la pendiente se torna prácticamente horizontal, esto implica que no hubo riego registrado durante ese periodo de tiempo, más bien la recarga percibida a lo largo de los meses restantes era proveniente de las precipitaciones. Se observa, además, entre los meses de febrero y mayo el agua acumulada se mantiene entre las curvas de ETc IANSA y ETc actual.

Los valores de ETc actual acumulado obtenido en el procesamiento de los datos de este “pivote 2”, alcanza un valor de 772 mm.

Los valores de Kc actuales fluctuaron desde 0,45 (germinación), hasta alcanzar la máxima demanda en donde alcanzó valores de 0,95 (enero y febrero).

El rendimiento de remolacha azucarera del “pivote 2” fue de 78,65 ton ha⁻¹, lo que es bastante bajo (confirma que el cultivo al no poseer agua disponible dada la ETc actual de los meses de verano) se mantuvo recesivo y manteniendo la fotosíntesis mínimamente.

5.1.3 Pivote 3.

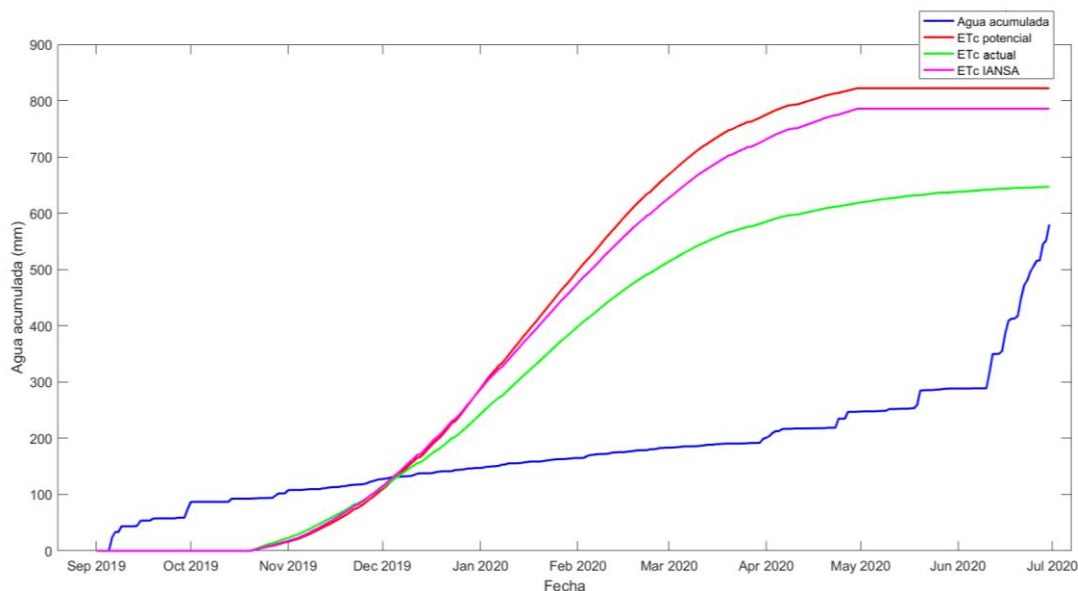


Figura 24. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “3”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule).
Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 24, el agua acumulada es críticamente inferior en función de los valores correspondientes a los ETc actuales registrados en la gráfica, probablemente estos valores se debieron a que el caudalímetro y/o el sensor que debió registrar dichos valores no lo hizo, por lo cual este valor de riego no es el real.

Los valores de Kc actuales registrados en la Figura 93, demuestran que sí hubo valores por sobre al riego contabilizado, esto implica que el riego efectivamente existió y estos se encuentran en valores de máxima demanda por sobre 0,85 (enero y febrero)

Los valores de ETc actuales por temporada registrados en el procesado de datos arrojó un valor de 646 mm.

El rendimiento del “pivote 3” de remolacha azucarera fue de 119 ton ha⁻¹.

5.1.4 Pivote 4.

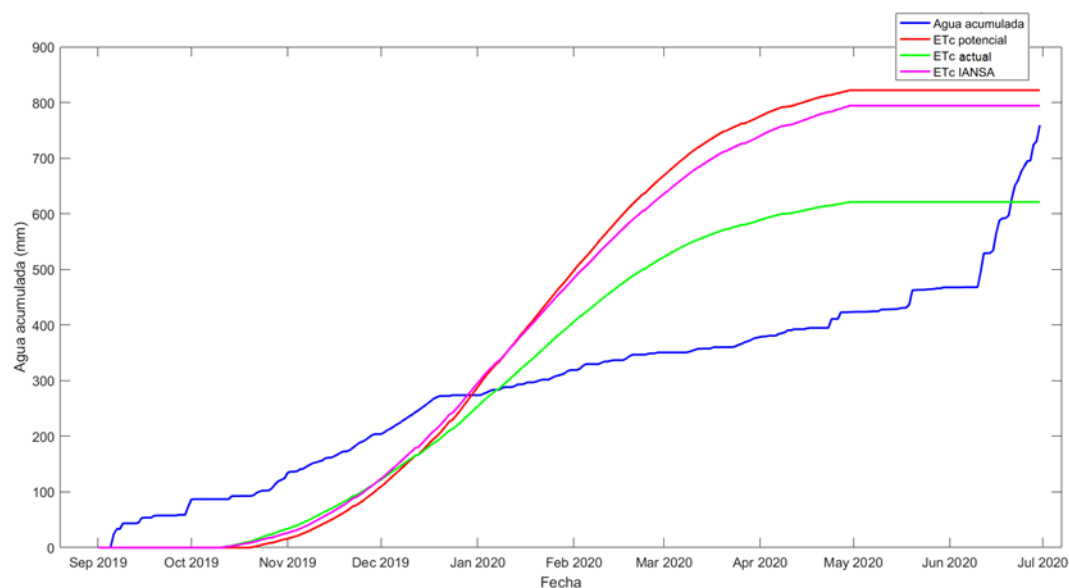


Figura 25. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “4”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 25, que la curva de agua acumulada tiene un comportamiento distinto a las 3 curvas de ETc, incluso en el mes de mayor demanda (enero) se encuentra por debajo de estas 3 curvas. En este caso se puede deber al no riego durante estos meses, o bien, a un mal registro de los datos de riego del cultivo de remolacha azucarera del “pivote 4”.

Los valores de K_c fluctúan en un intervalo de 0,5 a 0,9. Lo que demuestra un error en el registro de los valores de riego. Esto se evidencia en los mapas de la Figura 94 y 95 en donde el cultivo se encuentra en máxima demanda (procesos fotosintéticos), alcanzando un valor de ET_c actual acumulado de 621 mm.

Además, se puede evidenciar con la cantidad de remolacha la cual alcanzó un rendimiento limpio de $94,1 \text{ ton ha}^{-1}$.

4.1.1 Pivote 5.

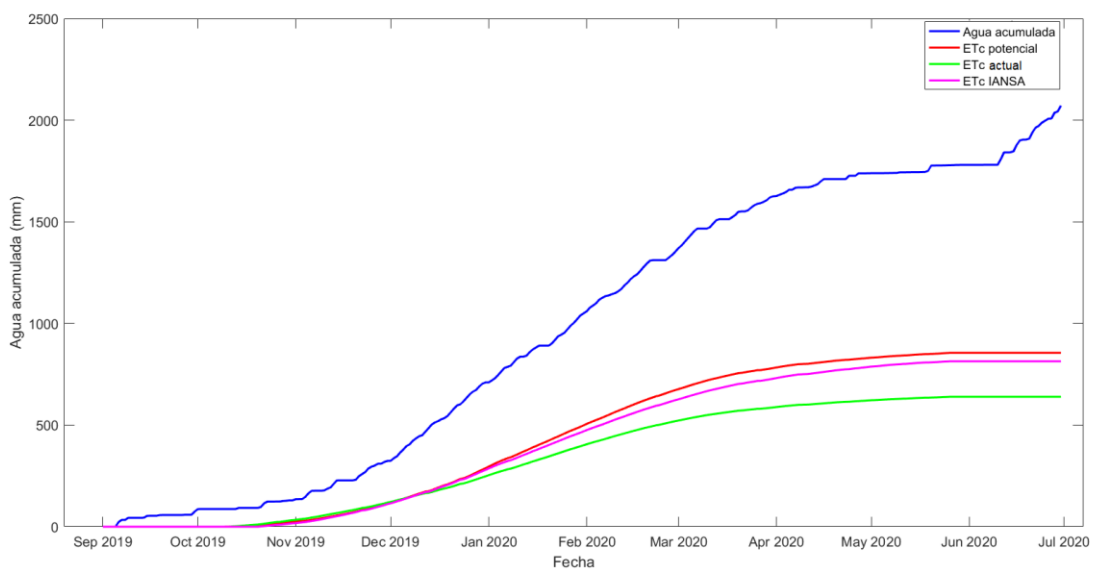


Figura 26. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ET_c potencial), actual (ET_c actual) e IANSA (ET_c IANSA), para el pivote “5”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 26, que el agua acumulada se mantuvo en todo momento por sobre la demanda real del cultivo existiendo valores de superávit por sobre los 1500 mm en la temporada de riego.

Tanto los valores de K_c y ET_c actuales extraídos desde la Figura 96 y 97 nos mostraron valores bajos a los esperados en contraste con los datos de riego, no superando los valores de K_c de 0,85 y para ET_c acumulado mediante el procesamiento de imagen de 640 mm.

Más aún al evaluar el rendimiento del “pivote 5” el cual alcanzó los 116,8 ton ha^{-1} de remolacha limpia.

5.1.5 Pivote 6

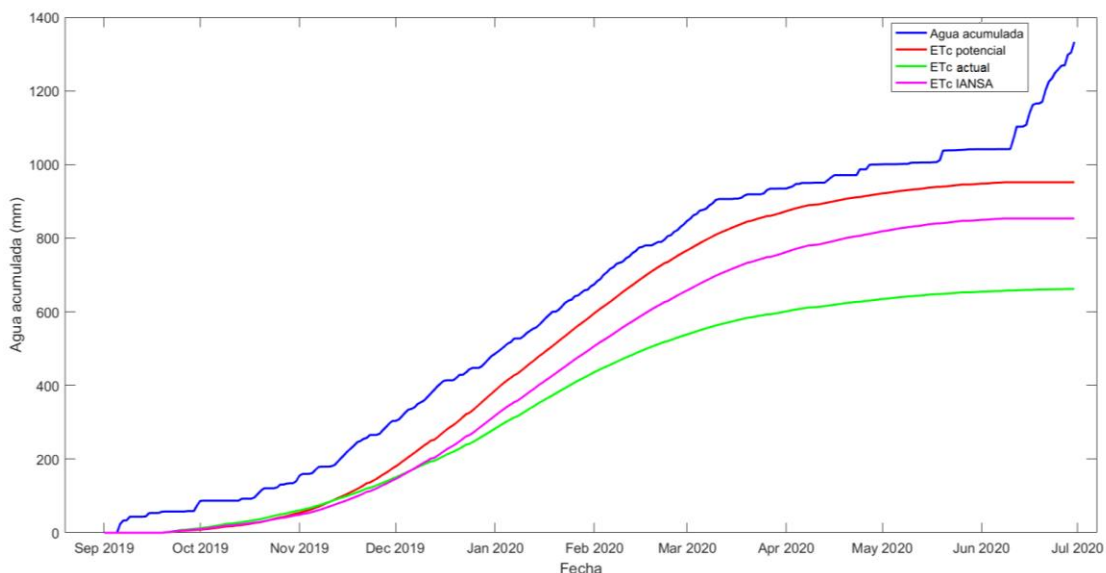


Figura 27. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “6”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 27, que el agua acumulada es levemente superior a las curvas de ETc actual, ETc IANSA y ETc potencial, las cuales seguían un comportamiento similar a lo largo de la temporada.

Para los valores de K_c y ET_c actuales obtenidos en el procesamiento de datos, se encuentran en valores de máxima demanda de 0,92 y para ET_c acumulada de 658 mm.

Además, el rendimiento de remolacha azucarera limpia fue de 101 ton ha⁻¹.

5.1.6 Pivote 7.

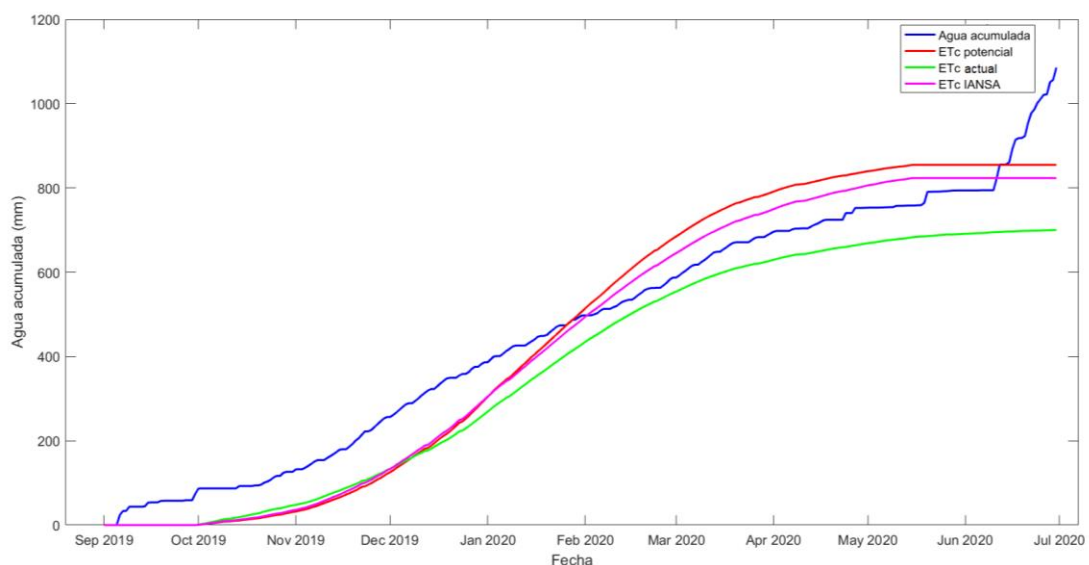


Figura 28. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ET_c potencial), actual (ET_c actual) e IANSA (ET_c IANSA), para el pivote "7", perteneciente al sector 3 (Región del Maule).

Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 28, que el agua acumulada mantuvo un comportamiento similar a los valores de ET_c actuales, lo cual implica que el riego se ajustó a la situación de este pivote.

Los valores de K_c actuales a máxima demanda bordearon el valor de 0,94.

El valor de ET_c acumulado obtenido en el procesamiento de datos tuvo un valor de 684 mm.

Además, el rendimiento de remolacha limpia fue de 129,91 ton ha⁻¹.

5.1.7 Pivote 8.

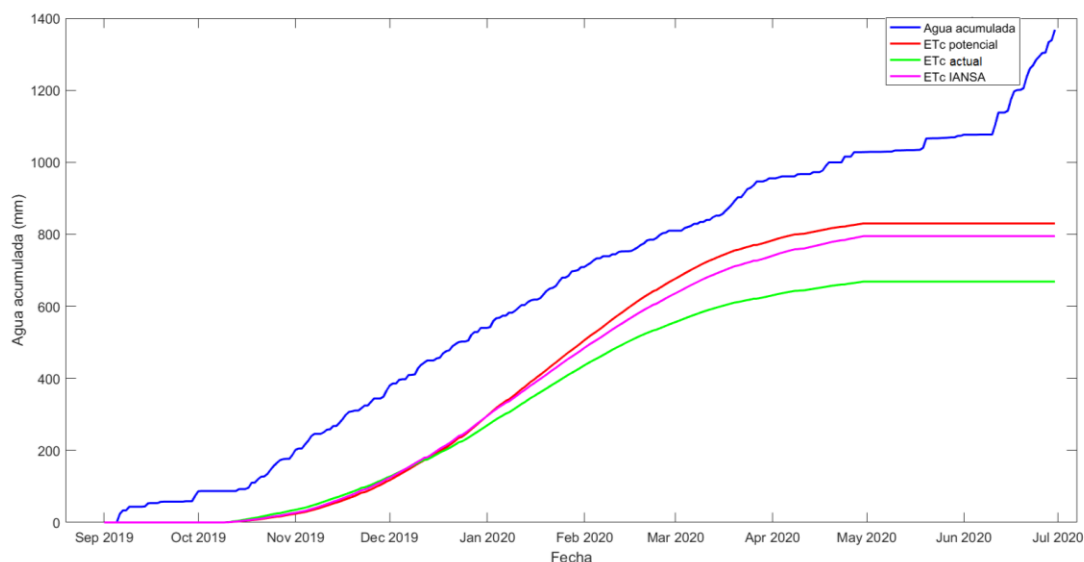


Figura 29. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “8”, perteneciente al sector 3 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 29, que el agua acumulada es superior a las demás curvas de ETc, evidenciando un comportamiento similar pero desfasada, alcanzando valores por sobre los 1000 mm acumulados de agua aplicada. Existiendo alrededor de 200 mm de diferencia.

En cuanto a los valores de Kc actuales de máxima demanda se encontraron en valores de 0,75 y 0,85 (ya que se dividía en 2 números de contrato diferentes estos pivotes). Para la ETc actual alcanzó valores acumulados de 670 mm.

Los rendimientos de remolacha azucarera limpia fueron de 63 ton ha⁻¹ y 84 ton ha⁻¹ (muy bajos al promedio nacional ≈94 ton ha⁻¹).

5.1.8 Pivote 9.

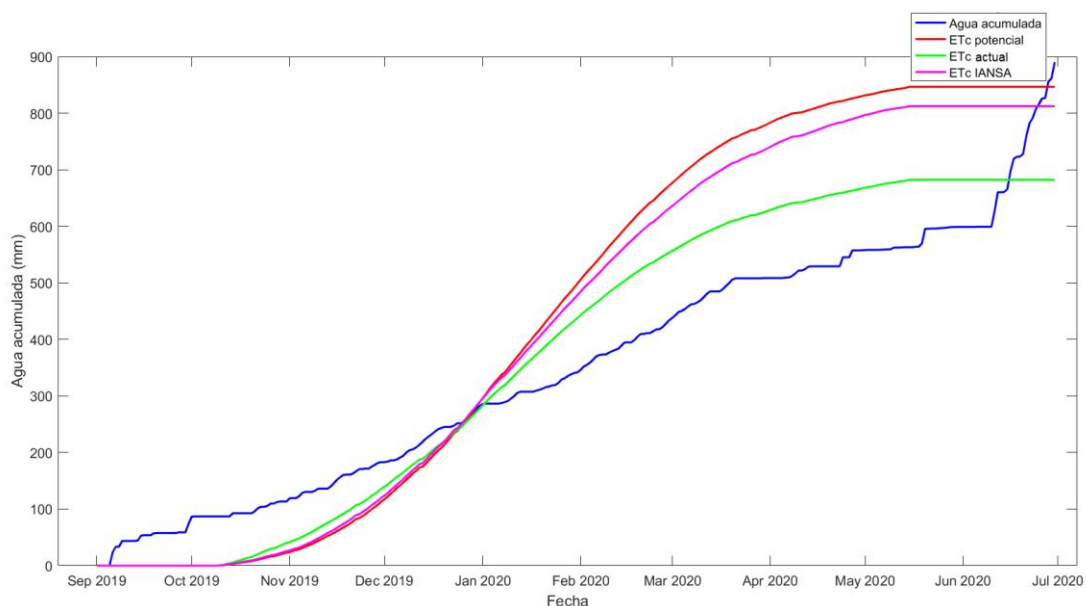


Figura 30. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “9” perteneciente al sector 3 (Región del Maule).
Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 30, que el agua acumulada se mantuvo levemente superior hasta el mes de máxima demanda (enero), pero su pendiente era bastante menor, por lo cual la curva de agua acumulada se mantuvo el resto de la temporada por debajo de las 3 curvas de ETc. Los valores de Kc actuales a máxima demanda alcanzaron valores por sobre 0,87.

Los valores de ETc actuales obtenidos mediante el procesamiento de datos alcanzaron un valor de 682 mm acumulados en la temporada. Además, el

rendimiento alcanzó un valor de 86,57 ton ha⁻¹ considerando que los valores de Kc y ETc eran levemente menores.

5.1.9 Pivote 10.

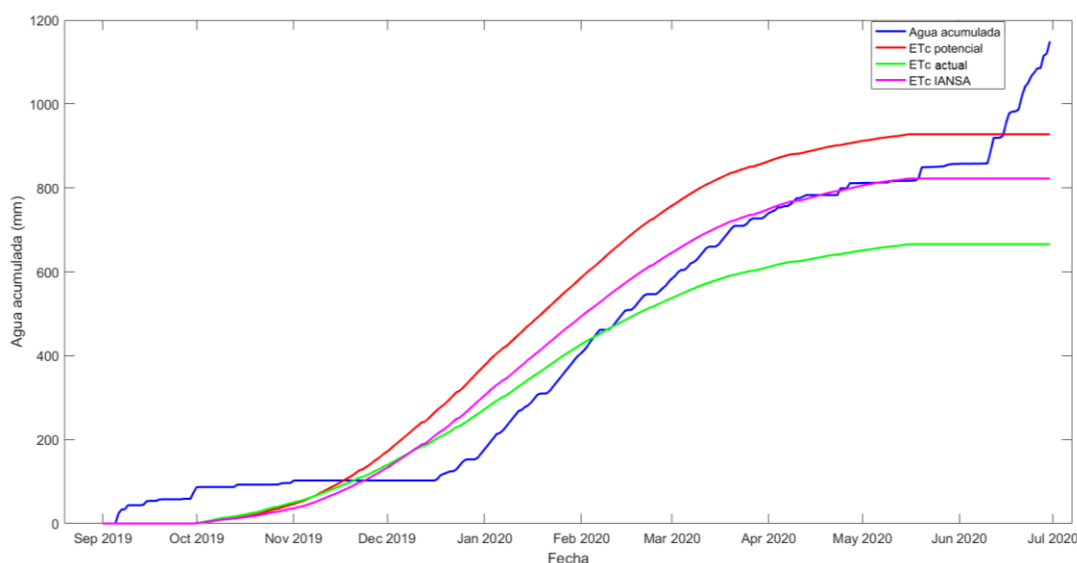


Figura 31. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “10” perteneciente al sector 3 (Región del Maule).

Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 31, que el agua inicialmente era baja hasta el mes de diciembre, sin embargo, hubo un aumento del riego el cual en la temporada de máxima demanda se comportó como las curvas de ETc, alcanzando valores por sobre los 800 mm acumulados.

En cuanto a los valores de Kc actuales se alcanzó un máximo de 0,9 y los valores de ETc actuales obtenidos en el procesamiento de datos fue de 666

mm acumulados. Agregar, además que el rendimiento para esta zona fue de 107,88 ton ha⁻¹ limpio, siendo un promedio bastante bueno.

5.1.10 Pivote 11.

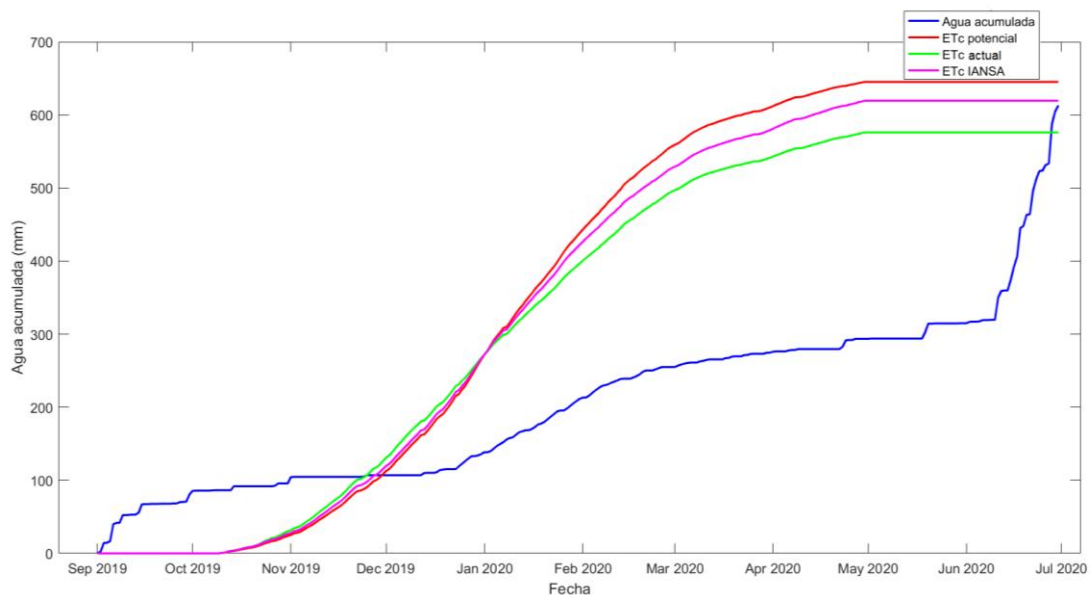


Figura 32. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “11”, perteneciente al sector 4 (Región del Maule).

Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 32, que el agua acumulada es críticamente inferior a los valores esperados de riego, manteniéndose constante los meses desde noviembre a enero y luego aumentando levemente en el riego posterior a esos meses. Se observó además que los valores de Kc actuales máximos y ETc actuales acumulados alcanzaron valores de 0,86 y 581 mm.

Contando además que el pivote se dividió en 2 partes: la primera con un rendimiento de 76,87 ton ha⁻¹, la cual es la que contiene menor aplicación de

agua de riego y la segunda con un rendimiento de $102,51 \text{ ton ha}^{-1}$, en donde existe un manejo diferente.

5.1.11 Pivote 12.

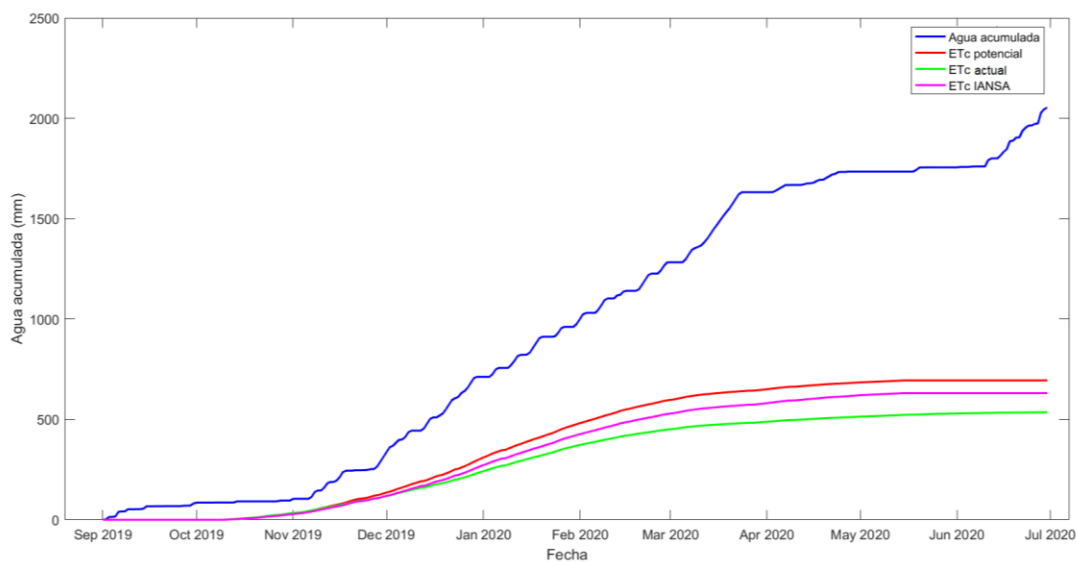


Figura 33. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “12”, perteneciente al sector 4 (Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 33, que el agua acumulada es elevadamente superior a las demás curvas de ETc, alcanzando valores que superan los 1600 mm.

Los valores de Kc y ETc actuales acumulados alcanzaron un máximo de 0,93 y 525 mm.

El rendimiento de remolacha azucarera fue de $118,38 \text{ ton ha}^{-1}$ limpia.

5.2 Región de Ñuble

5.2.1 Pivote 13

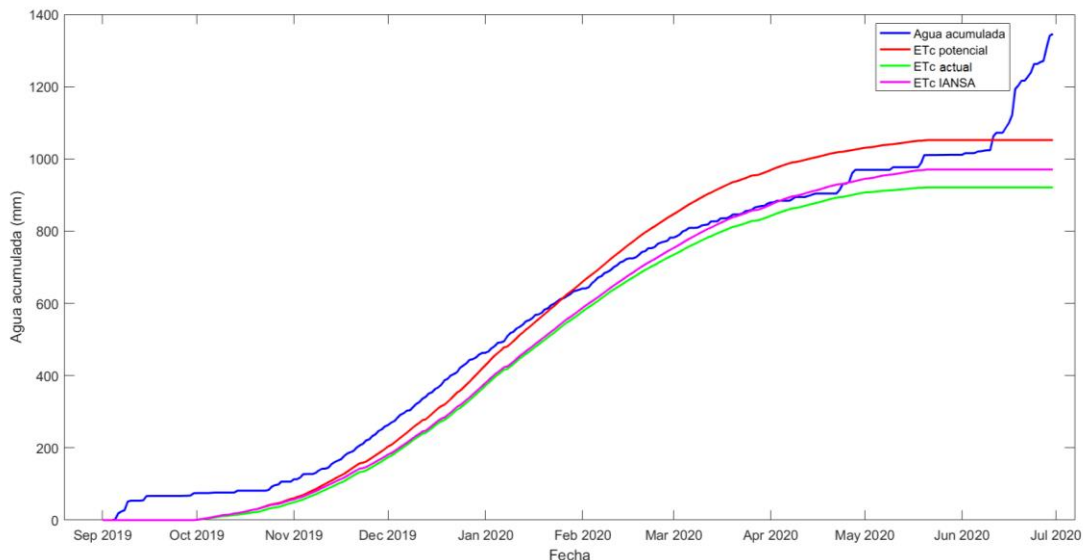


Figura 34. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “13”, perteneciente al sector 5 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 34, que el agua acumulada es similar a las 3 curvas de ETc a lo largo de toda la temporada agrícola, es decir, mantuvo un comportamiento de recarga gradual.

En cuanto al valor de Kc actual máximo fue de 1,04. Además, al valor de ETc actual procesado a partir de los datos alcanzó un valor de 921 mm acumulados.

Y el rendimiento de remolacha azucarera fue de 114,26 ton ha⁻¹.

5.2.2 Pivote 14.

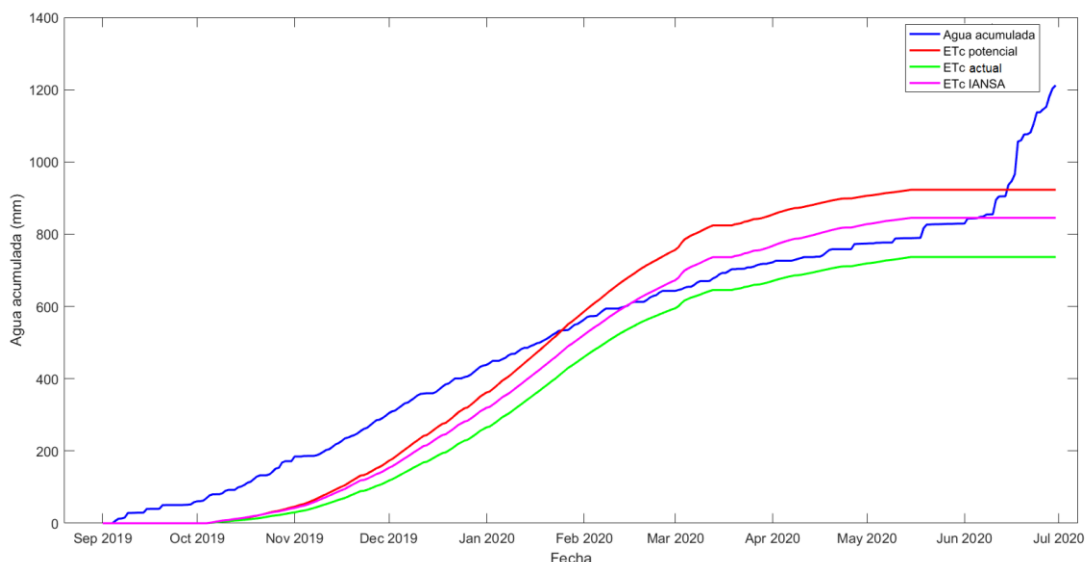


Figura 35. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote "14", perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 35, que el agua acumulada se mantuvo entre las curvas de ETc IANSA y ETc actual, la cual mantiene un comportamiento de recarga gradual a lo largo de la temporada del cultivo.

En cuanto al valor de Kc actual máximo obtenido en la temporada fue de 0,98.

El valor obtenido de ETc actual mediante el procesamiento de los datos fue de 740 mm acumulados en toda la temporada agrícola.

A partir de los datos mencionados anteriormente, se puede comparar añadiendo el parámetro de rendimiento el cual alcanzó un valor de 101,73 ton ha⁻¹ limpias de remolacha azucarera.

5.2.3 Pivote 15.

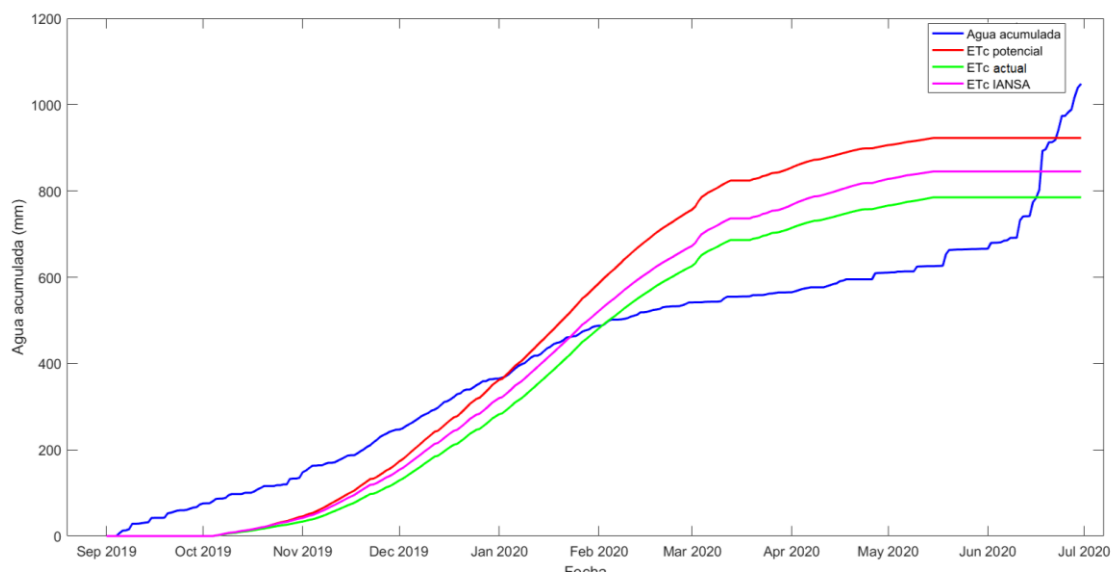


Figura 36. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote "15", perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 36, que el agua acumulada se mantuvo con un comportamiento similar a las 3 curvas de ETc hasta el mes de enero, y en febrero su pendiente se tornó menor (no existiendo presencia de riego).

En cuanto el valor de Kc actual máximo en la temporada alcanzó los 1,02. Para ETc actual el cual fue obtenido en el procesamiento de los datos igualmente se alcanzó un valor de $5,7 \text{ mm día}^{-1}$ con un acumulado de 781 mm. Valores claramente superiores para el riego descrito en el gráfico (probablemente no se hayan registrado los datos en ese intervalo de tiempo), además si comparamos con los rendimientos de remolacha (ya que dicho pivote se divide en 2 sectores de riego) alcanzó valores de $111,62 \text{ ton ha}^{-1}$ limpio y $122,4 \text{ ton ha}^{-1}$.

5.2.4 Pivote 16.

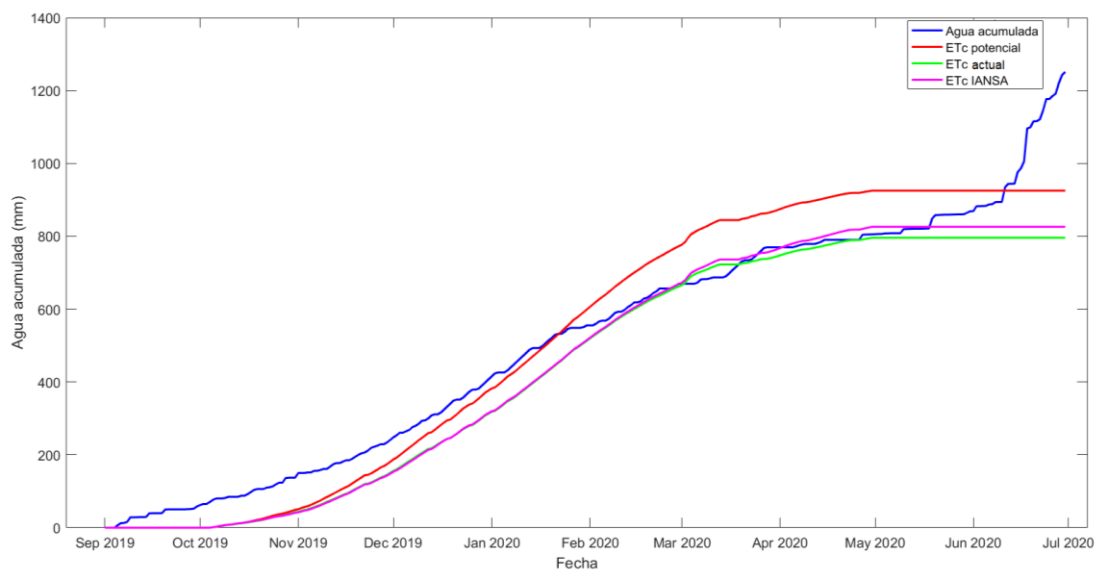


Figura 37. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “16”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 37, que el agua acumulada es bastante similar a las curvas de ETc actual y ETc IANSA, la cual mantiene un comportamiento de recarga gradual a lo largo de la temporada agrícola.

El valor de Kc actual máximo obtenido alcanzó un valor de 1,02 (enero). En cuanto al valor de ETc actual obtenido en el procesamiento de los datos se obtuvieron 799 mm acumulados.

Si bien estos valores son bastante buenos para un pivote, el rendimiento es algo bajo con un valor de 72,67 ton ha⁻¹ de remolacha limpia.

5.2.5 Pivote 17.

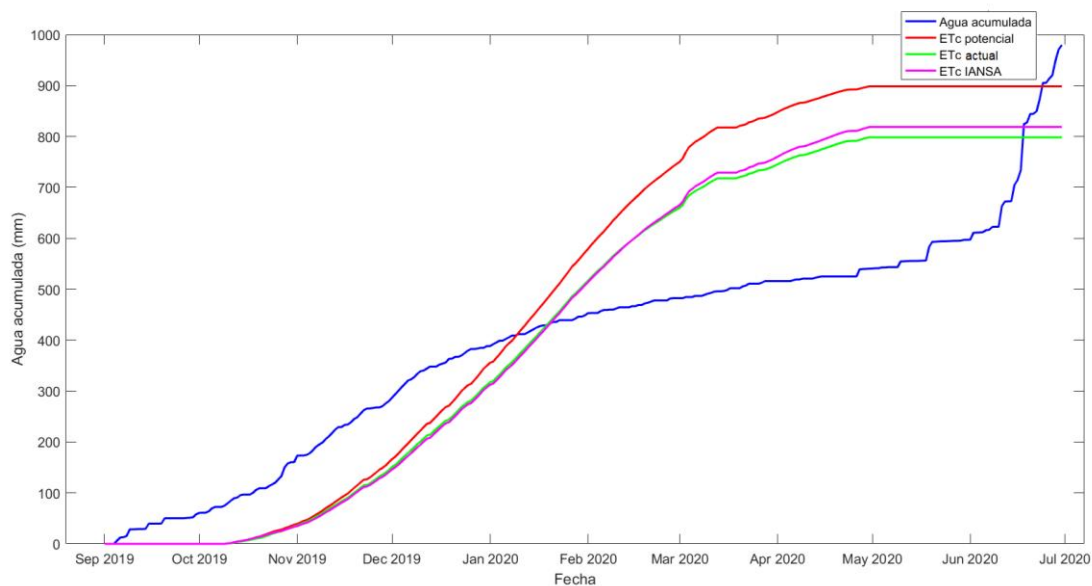


Figura 38. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote "17", perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 38, que el comportamiento de ETc actual e IANSA son bastante similares, no así la curva de agua acumulada que se encuentra bastante por debajo de estas curvas.

El valor de Kc actual máximo obtenido en la temporada de riego alcanza los 1,04.

En cuanto para ETc actual obtenida en el procesamiento de datos se tuvo un valor de 803 mm acumulados durante la temporada de riego.

El rendimiento de remolacha fue de 90,61 ton ha⁻¹ limpia, por lo que probablemente el riego debiese ser un poco mayor y así obtener un mejor rendimiento.

5.2.6 Pivote 18.

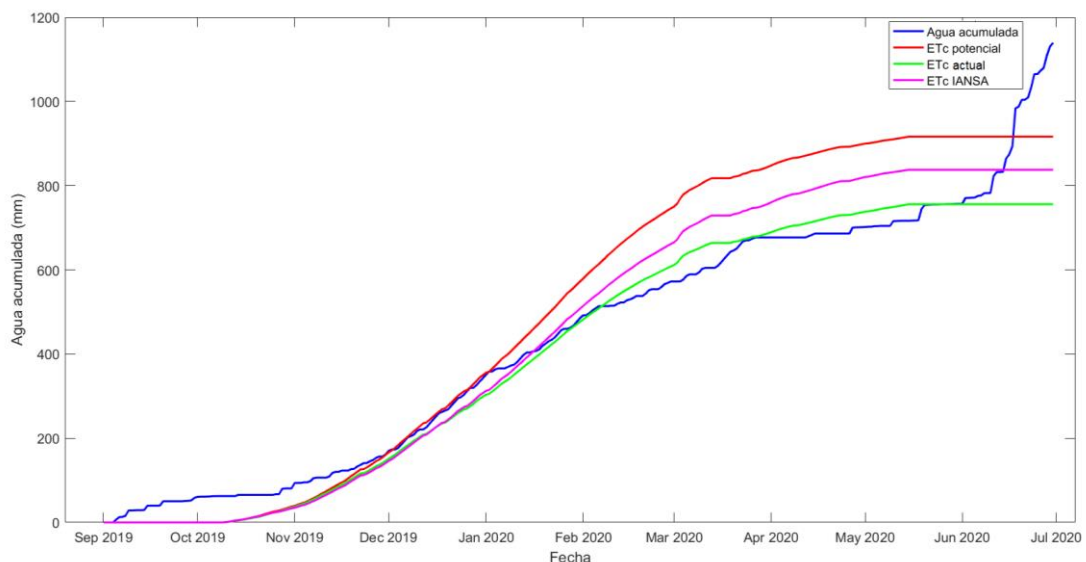


Figura 39. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “18”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 39, que el agua acumulada es similar a las curvas de ETc actual y ETc IANSA, las cuales mantuvieron un comportamiento de recarga gradual a lo largo de la temporada agrícola. Se observa, además que no existen saltos bruscos o momentos en donde exista ausencia de riego. En cuanto al valor de Kc actual máximo obtenido para este pivote es de 0,97. El valor obtenido de ETc actual mediante el procesamiento de los datos alcanzó los 756 mm acumulados, (similares a los 760 mm de agua acumulada en el mismo periodo del mes de mayo). El rendimiento de remolacha fue de 87,25 ton ha⁻¹ limpio (sin embargo, para

este pivote las toneladas por hectárea cosechadas antes de llevar a la planta fueron de 103,39 ton ha⁻¹)

5.2.7 Pivote 19.

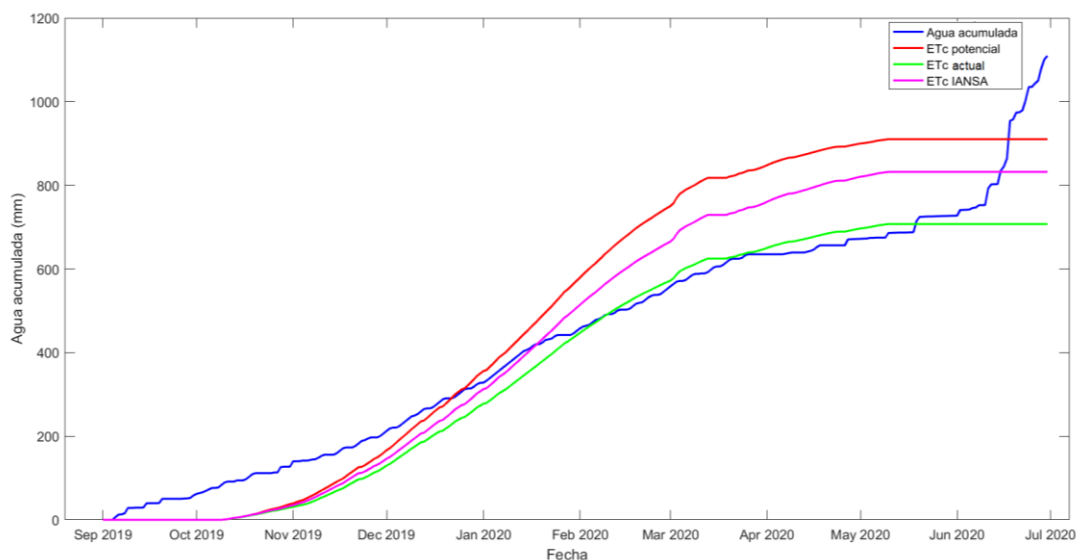


Figura 40. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “19”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 19, que el agua acumulada mantuvo un comportamiento similar a la ETc actual y por debajo de la ETc IANSA, además de que se mantuvo con un comportamiento de recarga gradual a lo largo de la temporada.

En cuanto al valor de Kc actual máximo obtenido en la temporada fue de 0,91. Además, agregando el valor de ETc actual el cual fue obtenido en el procesamiento de los datos del pivote alcanzó los 707 mm acumulados.

Si incluimos el rendimiento de remolacha en la temporada alcanzó un valor de 82,01 ton ha⁻¹ limpio lo cual es algo bajo en función de los valores obtenidos.

5.2.8 Pivote 20.

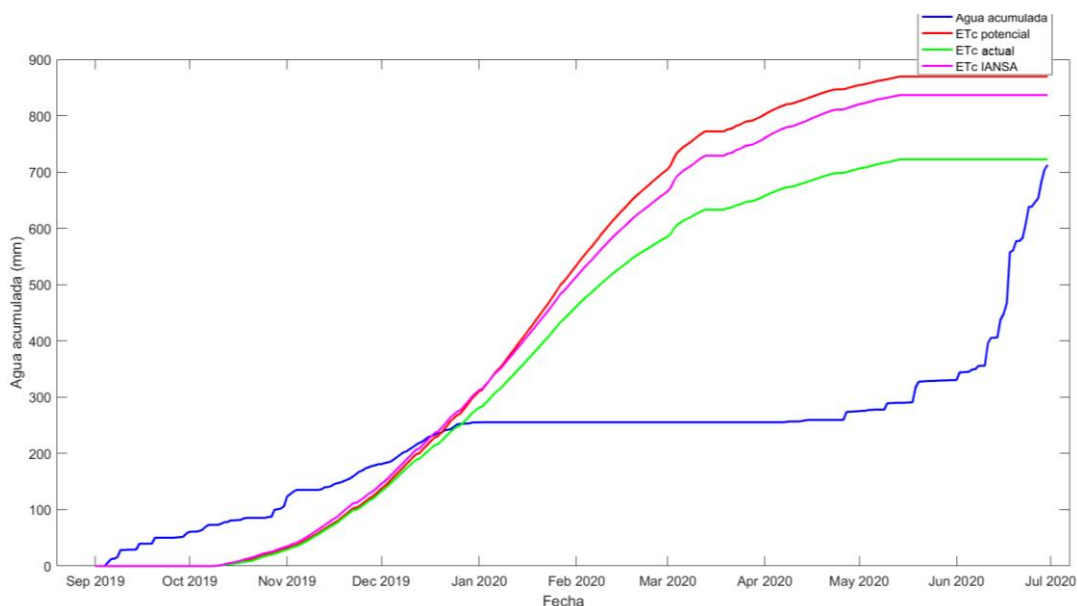


Figura 41. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “20”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 41, que el agua acumulada se mantuvo críticamente por debajo de las 3 curvas de ETc, incluso su valor está por debajo de los 300 mm por temporada de riego (desde enero hasta mayo no hubo recarga alguna).

El valor de Kc actual máximo obtenido a lo largo de la temporada alcanzó los 0,93.

En cuanto al valor de ETc actual obtenido en el procesamiento de datos, alcanzó un valor de 723 mm acumulados en toda la temporada.

Además, agregar que los valores de rendimiento se dividieron en 2 sectores, el primero con 90,31 ton ha⁻¹ limpias y de 107,9 ton ha⁻¹ limpias.

5.2.9 Pivote 21.

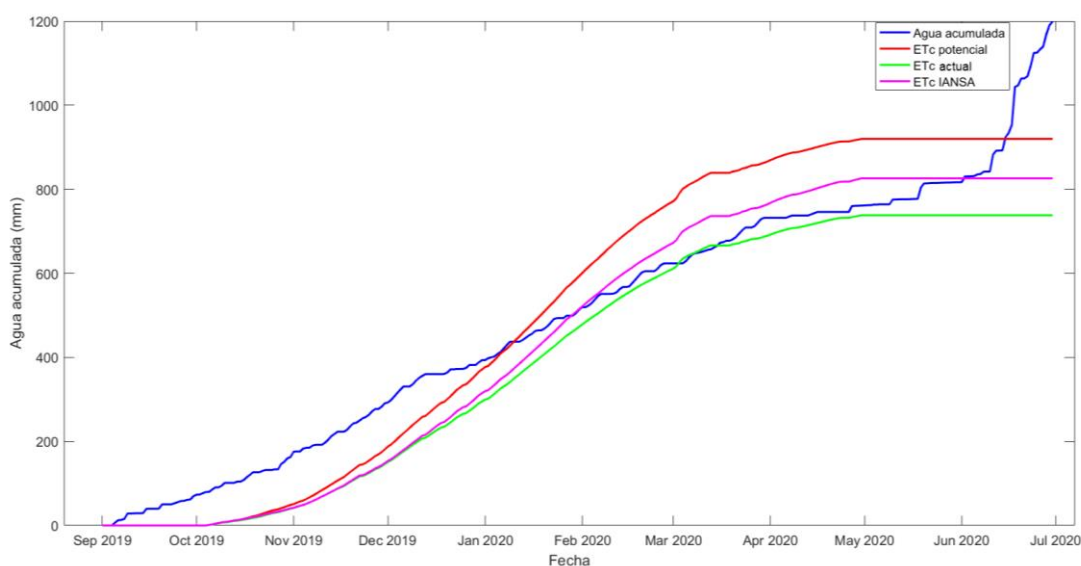


Figura 42. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote "21", perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 42, que el agua acumulada es similar a la curva de ETc actual, a lo largo de la temporada del cultivo de remolacha, además de mantener un comportamiento de recarga gradual.

En cuanto al valor de Kc actual máximo en esta temporada alcanzó los 0,92.

Agregando, además que el valor obtenido de ETc actual a lo largo de la temporada agrícola alcanzó los 738 mm acumulados.

Si contamos de la misma manera el rendimiento obtenido esa temporada fue de 80,55 ton ha⁻¹, siendo un valor levemente bajo al promedio del país y de las condiciones de ETc y Kc actuales obtenidas con anterioridad.

5.2.10 Pivote 22.

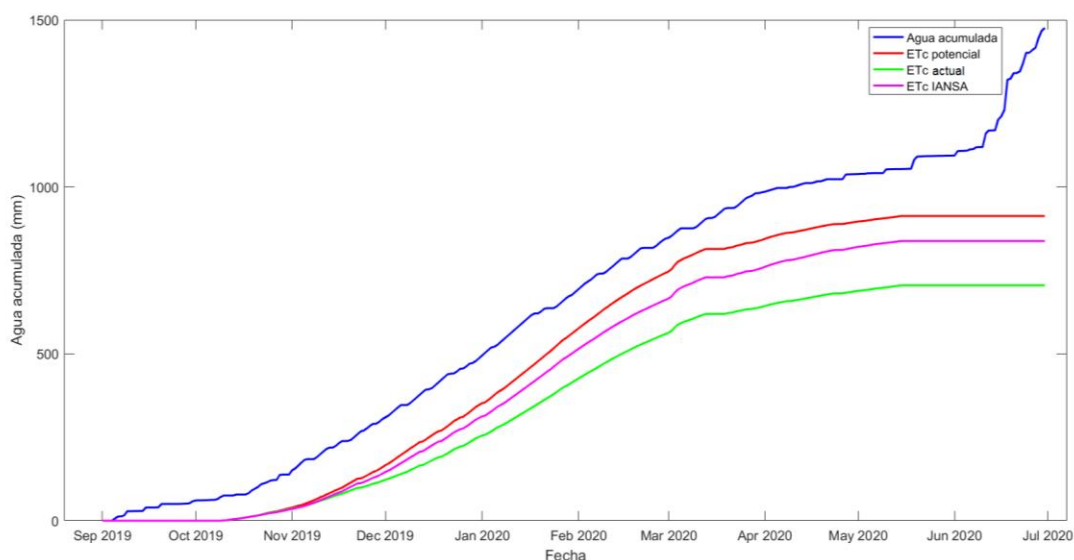


Figura 43. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote "22", perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 43, que el agua acumulada se mantuvo por sobre las curvas de ETc a lo largo de toda la temporada de riego. Además de que dicha curva superó los 1000 mm en la temporada.

El valor de Kc actual máximo obtenido en esta temporada fue de 0,9.

En cuanto al valor de ETc actual obtenido a partir del procesamiento de imágenes satelitales fue de 705 mm.

A pesar de los valores de ETc el rendimiento fue de 103,17 ton ha⁻¹ limpias.

5.2.11 Pivote 23.

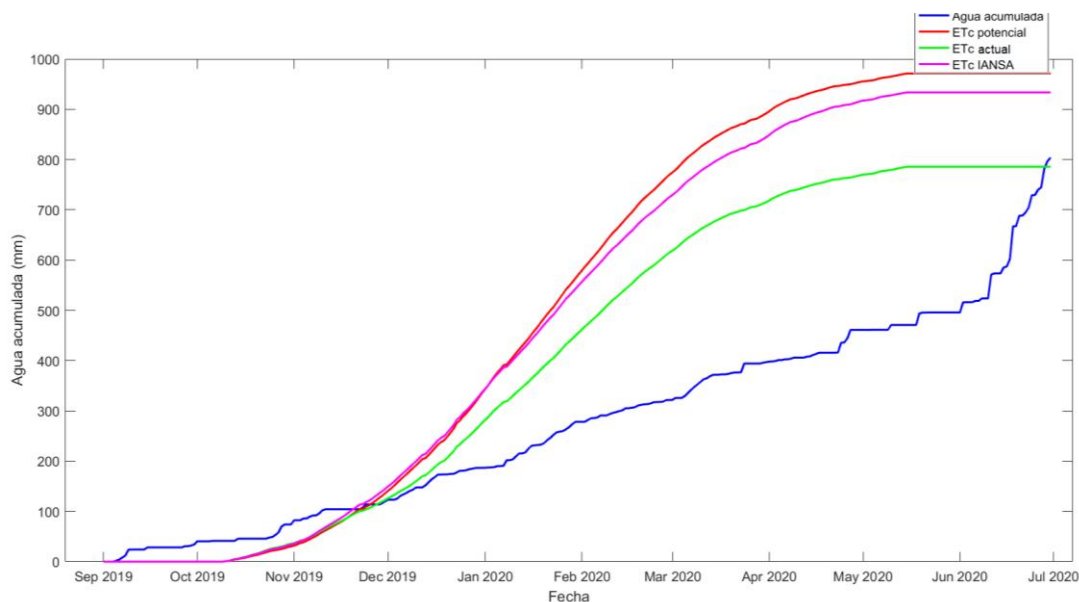


Figura 44. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “23”, perteneciente al sector 7 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 44, que el agua acumulada es inferior a las 3 curvas de ETc a lo largo de toda la temporada de riego, presumiblemente faltando riego, siendo aproximadamente de 500 mm acumulados.

El valor de Kc actual máximo fue de 0,93, no contrastando con el valor de agua acumulada.

En cuanto al valor de ETc actual este pivote alcanzó los 786 mm acumulados.

El rendimiento alcanzó un valor de 93,24 ton ha⁻¹. Lo cual se mantiene bordeando el límite del promedio en Chile.

5.2.12 Pivote 24.

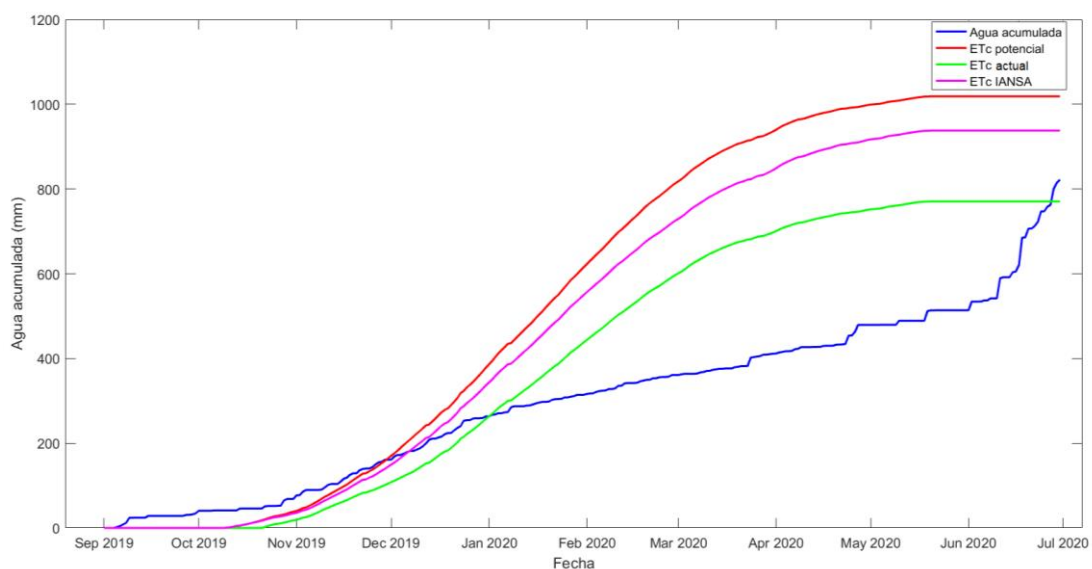


Figura 45. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “24”, perteneciente al sector 7 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 45, que el agua acumulada es inferior a las 3 curvas de ETc a lo largo de toda la temporada de riego, presumiblemente faltando riego, siendo aproximadamente de 550 mm acumulados.

El valor de Kc actual máximo fue de 0,92, no contrastando con el valor de agua acumulada.

En cuanto al valor de ETc actual este pivote alcanzó los 771 mm acumulados.

El rendimiento alcanzó un valor de 102,71 ton ha⁻¹. Lo cual es bastante bueno si contamos el agua acumulada en la temporada.

5.3 Región del Bio Bío

5.3.1 Pivote 25.

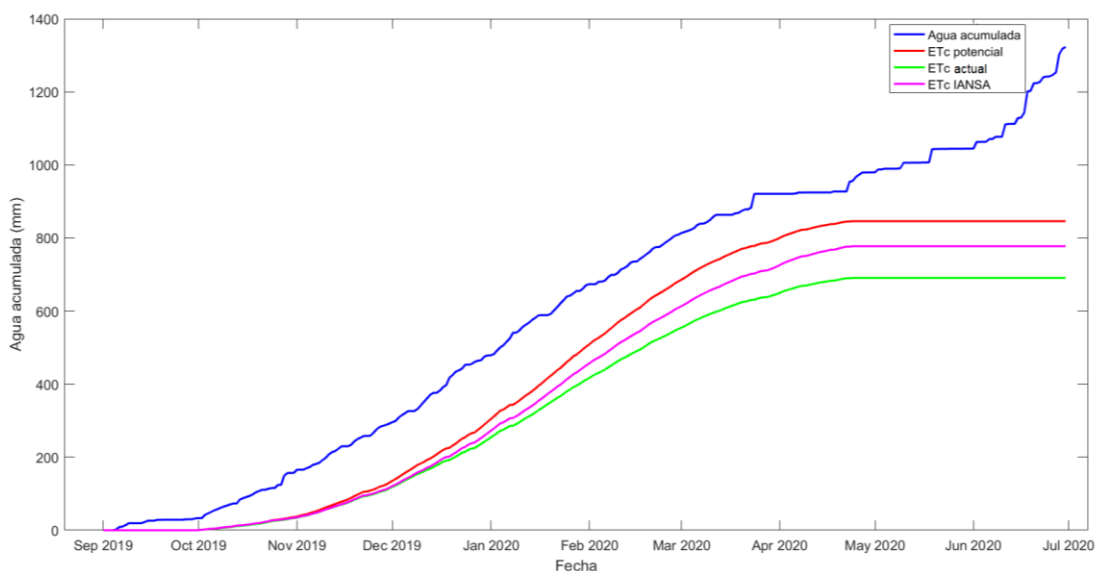


Figura 46. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote "25", perteneciente al sector 8 (Región del Biobío).

Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 46, que el agua acumulada se mantuvo por sobre las curvas de ETc a lo largo de toda la temporada de riego. Además de que dicha curva superó los 1000 mm en la temporada.

El valor de Kc actual máximo obtenido en esta temporada fue de 0,93.

En cuanto al valor de ETc actual obtenido a partir del procesamiento de imágenes satelitales fue de 691 mm.

A pesar de los valores de ETc el rendimiento fue de 109,13 ton ha⁻¹ limpias.

5.3.2 Pivote 26.

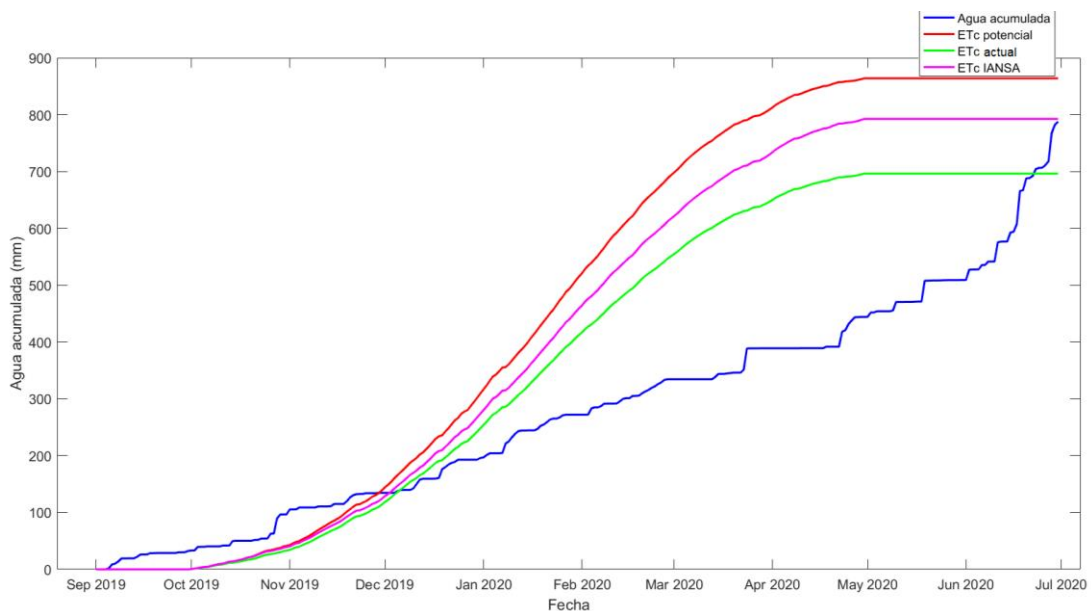


Figura 47. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “26”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 47, que el agua acumulada es inferior a las 3 curvas de ETc a lo largo de toda la temporada de riego, presumiblemente faltando riego, siendo aproximadamente de 530 mm acumulados.

El valor de Kc actual máximo fue de 0,91 no contrastando con el valor de agua acumulada.

En cuanto al valor de ETc actual este pivote alcanzó los 682 mm acumulados.

El rendimiento alcanzó un valor de 99,01 ton ha⁻¹. Lo cual es bueno si contamos el agua acumulada en la temporada.

5.3.3 Pivote 27.

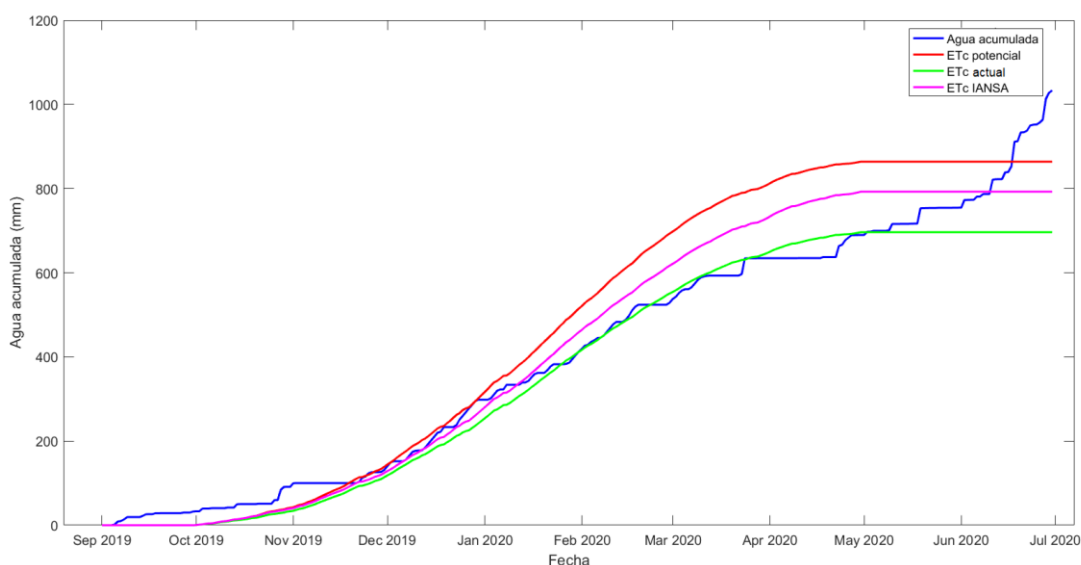


Figura 48. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “27”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío).

Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 48, que el agua acumulada es similar a la curva de ETc actual, a lo largo de la temporada del cultivo de remolacha, además de mantener un comportamiento de recarga gradual y sin saltos.

En cuanto al valor de Kc actual máximo en esta temporada alcanzó los 0,95.

Agregando, además que el valor obtenido de ETc actual a lo largo de la temporada agrícola alcanzó los 697 mm acumulados.

Si contamos de la misma manera el rendimiento obtenido esa temporada fue de 127,04 ton ha⁻¹, siendo un valor muy elevado al promedio del país y de las condiciones de ETc y Kc obtenidas con anterioridad.

5.3.4 Pivote 28.

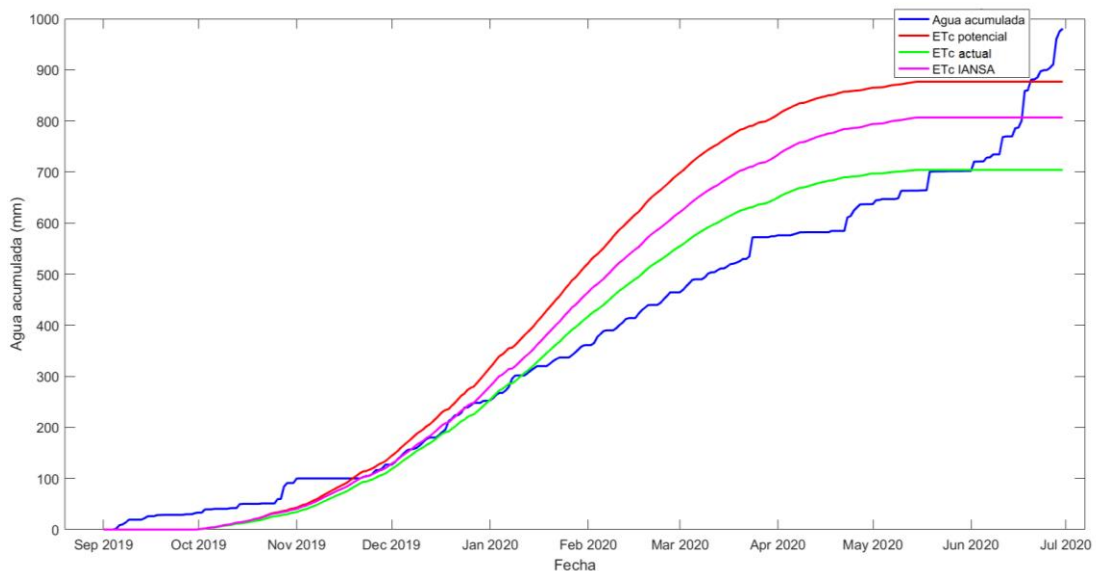


Figura 49. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote "28", perteneciente al sector 8 (Región del Biobío).

Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 49, que el agua acumulada es similar a la curva de ETc actual, a lo largo de la temporada del cultivo de remolacha, además de mantener un comportamiento de recarga gradual.

En cuanto al valor de Kc actual máximo en esta temporada alcanzó los 0,96.

Agregando, además que el valor obtenido de ETc actual a lo largo de la temporada agrícola alcanzó los 704 mm acumulados.

Si contamos de la misma manera el rendimiento obtenido esa temporada fue de 114,26 ton ha⁻¹, siendo un valor elevado al promedio del país.

5.3.5 Pivote 29.

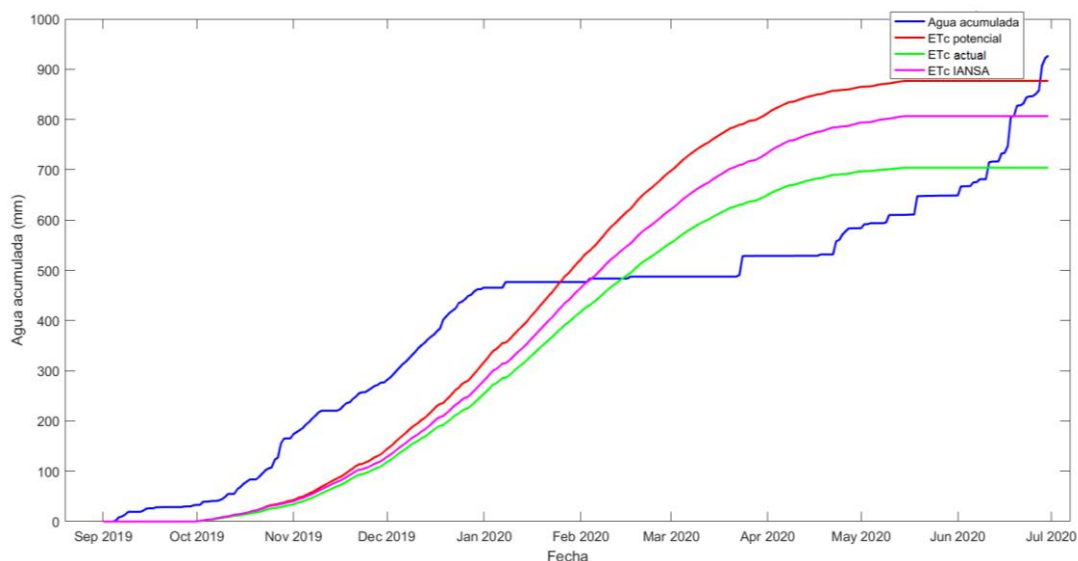


Figura 50. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “29”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío).
Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 50, que el agua acumulada es superior a las curvas de ETc, aunque en el mes de diciembre no existió riego hasta finalizar la temporada del cultivo de remolacha.

En cuanto al valor de Kc actual máximo en esta temporada alcanzó los 0,95.

Agregando, además que el valor obtenido de ETc actual a lo largo de la temporada agrícola alcanzó los 701 mm acumulados.

Si contamos de la misma manera el rendimiento obtenido esa temporada fue de 114,64 ton ha⁻¹, siendo un valor bastante alto al promedio del país y de las condiciones de ETc y Kc actuales obtenidas con anterioridad.

5.3.6 Pivote 30.

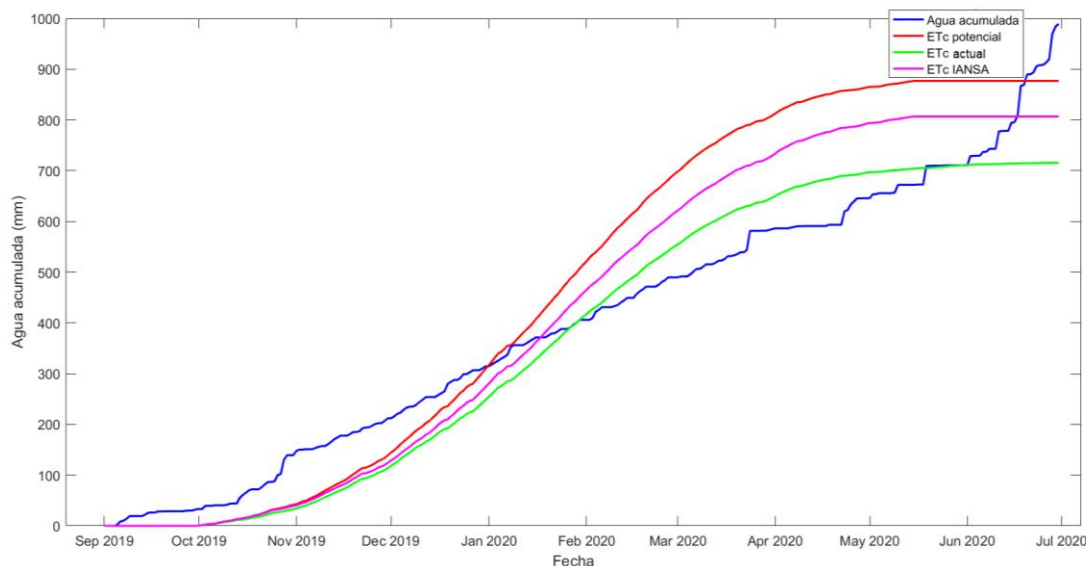


Figura 51. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “30”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío).

Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 51, que el agua acumulada es similar a la curva de ETc actual, a lo largo de la temporada del cultivo de remolacha, además de mantener un comportamiento de recarga gradual, salvo los meses finales de riego. En cuanto al valor de Kc actual máximo en esta temporada alcanzó

los 0,91. Agregando, además que el valor obtenido de ETc actual a lo largo de la temporada agrícola alcanzó los 713 mm acumulados.

Si contamos de la misma manera el rendimiento obtenido esa temporada fue de 120,21 ton ha⁻¹, siendo un valor bastante alto al promedio del país y de las condiciones de ETc y Kc actuales obtenidas con anterioridad.

5.3.7 Pivote 31.

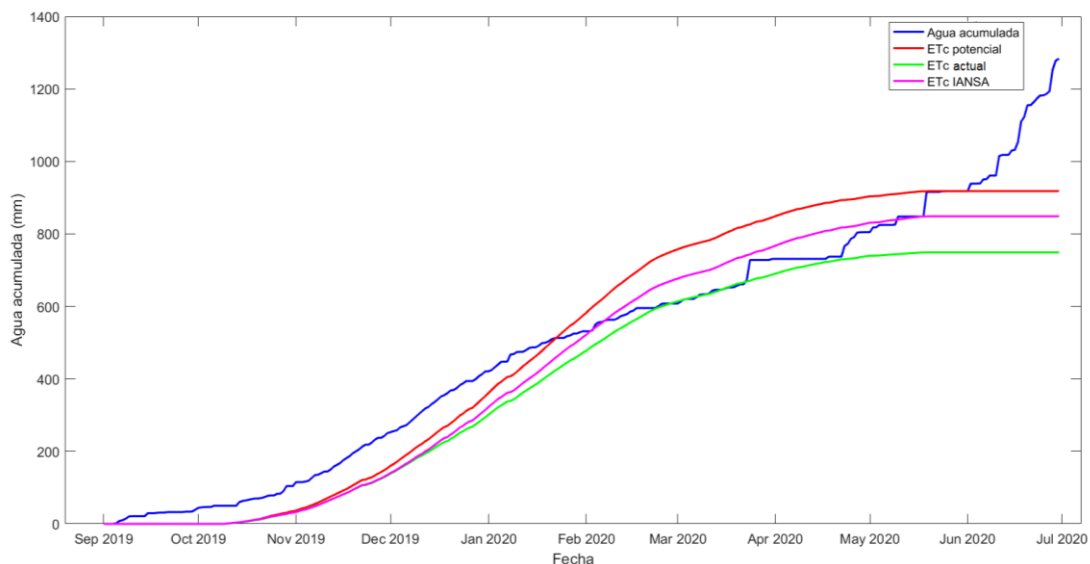


Figura 52. Agua acumulada, Evapotranspiración de cultivo potencial (ETc potencial), actual (ETc actual) e IANSA (ETc IANSA), para el pivote “31”, perteneciente al sector 9 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

Se observó desde la Figura 52, que el agua acumulada es similar a la curva de ETc actual y ETc IANSA, a lo largo de la temporada del cultivo de remolacha, además de mantener un comportamiento de recarga gradual.

En cuanto al valor de Kc actual máximo en esta temporada alcanzó los 0,98.

Agregando, además que el valor obtenido de ETc actual a lo largo de la temporada agrícola alcanzó los 759 mm acumulados.

Si contamos de la misma manera el rendimiento obtenido esa temporada fue de 86,92 ton ha⁻¹, siendo un valor levemente bajo al promedio del país y de las condiciones de ETc y Kc actuales obtenidas con anterioridad.

6 CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

La ETc potencial pudo estimarse a partir de los datos suministrados por FAO 56 (específicamente en la Tabla 6), en donde obtenemos los valores iniciales de la remolacha azucarera K_{Cini} : 0,35, el K_{Cmed} : 1,20 y K_{Cfin} : 0,70 con dichos valores y las variables agroclimáticas se pudo estimar la ETc potencial con la E_c (1) de Penman–Monteith dichos valores carecían de representatividad, esto debido a que existía un comportamiento lineal a partir de sólo 3 puntos en la serie temporal.

En el caso de las imágenes satelitales obtenidas, son todas las que van desde la Figura 19 hasta la Figura 147, las cuales fueron obtenidas a partir de AQUASAT implementado en MATLAB, previamente descargada de la página de USGS, con ello se pudo observar que dichos valores tenían disponibilidad cada 16 días en el mejor de los casos y los valores máximos fluctuaron entre K_c actual 1,06 y ETc actual 5,78 mm día⁻¹ (para la temporada de enero-febrero de 2020).

Un sólo parámetro no fue suficiente para evaluar el riego aplicado en cada pivote, se utilizaron valores de demanda IANSA e imágenes satelitales provenientes de Landsat 8, los cuales permitieron encontrar valores de K_c actuales y de esta manera se determinaron los valores de evapotranspiración de cultivo actuales para cada situación (FAO, IANSA y Satelital), compararlos

entre sí y con la lámina de agua aplicada en toda la temporada por cada pivote.

La determinación de la demanda de agua actual del cultivo de remolacha estuvo ligada a parámetros de suma importancia los cuales correspondían a las variables climáticas (Radiación, ubicación, zonas de riego, entre otras). Los gráficos obtenidos además permitieron evaluar la recarga de agua a lo largo de la temporada 2019-2020, y se obtuvo lo siguiente. En la mayoría de los pivotes de riego se observó que el agua aplicada se ajustó a las curvas de ETc IANSA y ETc actual, siendo la más representativa en este caso la ETc actual (que está ligada a la demanda de agua del cultivo de remolacha azucarera) demostrando que dichos valores son los correctos en cuanto al riego necesario. En algunos casos aislados, el riego era menor o bien excesivo, por lo que en dichos pivotes el riego no era el adecuado en función de la demanda de agua. Sin embargo, los rendimientos en esos casos estaban por sobre las 90 ton ha⁻¹ lo que implica como posibilidad que los caudalímetros no almacenaron los valores de manera correcta y dichos valores no se ajustaban a los reales aplicados en cada uno de ellos (ya que en esos casos todo indica que el riego fue el adecuado).

RECOMENDACIONES:

Revisar la toma de datos, verificar que el registro demarcado por los caudalímetros sea el correcto en cuanto al riego.

Seguir las recomendaciones impuestas por IANSA (en cuanto a la demanda de agua de los cultivos de remolacha en los pivotes de riego.

Extrapolando los valores a otros cultivos y sistemas de riego automatizados podemos extraer lo siguiente:

Se podría expandir el análisis a otros cultivos, esto quiere decir que el uso de las imágenes satelitales permitirá al igual que este caso construir una serie temporal NDVI específicamente para el sensor de Landsat 8, la cual permitió la estimación de ETc Real para el cultivo de remolacha azucarera. La herramienta indispensable para el análisis fue AQUASAT la cual evidenció el manejo de agua que desarrollaron los agricultores en los pivotes centrales de remolacha.

Para otros cultivos permitiría generar estrategias que mejorarían en gran medida (dando una segunda opinión) la gestión y el uso de agua a lo largo de la temporada de riego, es decir dando pie a optimizar este recurso.

Algunas limitantes de este método de AQUASAT es la poca disponibilidad de imágenes satelitales de Landsat-8 (cada 16 días), considerando además que algunas de ellas pueden no servir para el procesamiento de datos y obtención de ETc Real esto producto que las imágenes satelitales pueden presentar porcentajes de nubosidad elevados y pudieron interferir en la veracidad de los valores.

Otra limitante que se vio en este análisis fue la capacidad de procesamiento

de datos por lo cual fue necesario tener un computador con recursos medio-alto para permitirse procesar esta gran cantidad de imágenes y datos, además si son grandes extensiones de cultivo y de zonas a analizar, tomará una mayor cantidad de tiempo.

Por último, este análisis permitirá optimizar en gran medida el riego de los cultivos que se deseen analizar y de esta manera disminuir los costos energéticos provenientes del recurso hídrico.

7 LITERATURA CITADA

1. Agroclima. 202?. Región Maule [en línea: programa computacional]. Agroclima, Chile. <<http://www.agroclima.cl/Informe.aspx?IdReg=7>>. [Consulta: 21 agosto 2021].
2. Agromet. 202?. Datos históricos [en línea: programa computacional]. Ministerio de Agricultura, Chile. <<https://www.agromet.cl/datos-historicos>>. [Consulta: 21 agosto 2021].
3. Aguilar, H., R. Mora y C. Vargas. 2014. Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo flash del software ENVI. Rev. Geogr. América Central 2(53): 39-59.
4. Aguirre, M.S. 2017. Estimación de evapotranspiración en remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) y componentes de balance superficial de energía usando SEB-PV (The modified SEB model for partially vegetated surfaces) e imágenes de satélite. Tesis, Magíster en Ingeniería Agrícola con mención en Recursos Hídricos. Universidad de Concepción, Dirección de Postgrado, Facultad de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile.
5. Allen, R.G., I.A. Walter, R. Elliott, T. Howell, D. Itenfisu and M. Jensen. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. ASCE. EWRI. Reston, USA.
6. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N°56. FAO. Roma, Italia.
7. Allen, R.G., M. Tasumi and R. Trezza. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. J. Irrig. Drain. Eng. 133(4): 380-394.
8. Congedo, L. 2013. Semi-Automatic classification plugin for QGIS [en línea]. Universidad Sapienza de Roma, Italy. <http://www.planning4adaptation.org/Docs/papers/Semi-Automatic_Classification_Plugin_for_QGIS.pdf>. [Consulta: 20 marzo 2021].
9. Delgado, W.G. 2015. Gestión y valor económico del recurso hídrico. Rev. Finanz. Polít. Econ. 7(2): 279-298.
10. Dirección General de Aeronáutica Civil. 2021. Catastro de estaciones del Sistema SACLIM [en línea: programa computacional]. Dirección Meteorológica de Chile. <<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/buscado/rEstaciones>>. [Consulta: 15 marzo 2021].

11. Fonseca, D.A. 2015. Estimación de evapotranspiración espacialmente distribuida mediante un enfoque GEOBIA. Tesis, Doctorado en Ingeniería Agrícola con mención en Recursos Hídricos. Universidad de Concepción, Dirección de Postgrado, Facultad de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile.
12. Gavilán, V.A. 2019. Balance anual de agua en cultivos utilizando datos de serie de tiempo armonizados de Landsat-8 y Sentinel- 2. Tesis, Magíster en Ingeniería Agrícola con mención en Recursos Hídricos. Universidad de Concepción, Dirección de Postgrado, Facultad de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile.
13. Gordillo, V.M., H. Flores, L. Tijerina y R. Arteaga. 2014. Estimación de la evapotranspiración utilizando un balance de energía e imágenes satelitales. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(1): 143-155.
14. Holzapfel, E., M. Lillo-Saavedra, D. Rivera, V. Gavilán, A. García-Pedrero and C. Gonzalo-Martín. 2020. A satellite-based ex post analysis of water management in a blueberry orchard [en línea]. *Comput. Electron. Agric.* 176. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169920310176>>. [Consulta: 12 febrero 2021].
15. INE (Chile). 2021. Siembra y cosecha [en línea]. INE, Chile. <<https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/cosecha>>. [Consulta: 15 mayo 2021]
16. INIA (Chile). 2019. Agrometeorología INIA [en línea: programa computacional]. Red Agrometeorológica de INIA. <<https://agrometeorologia.cl/>>. [Consulta: 12 febrero 2021].
17. Ke, Y., J. Im, J. Lee, H. Gong and Y. Ryu. 2015. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote Sens. Environ.* 164: 298-313.
18. Muñoz, P. 2013. Apuntes de teledetección: Fusión de imágenes [en línea]. Centro de Información de Recursos Naturales, Chile. <<https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26387/Fusi%c3%b3n%20de%20Im%c3%a1genes%20P%20Mu%c3%b1oz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 29 diciembre 2021].
19. OECD (Francia). 2020. OECD-FAO Agricultural outlook 2020-2029. OECD. FAO. París, Francia.
20. Santibáñez, F., P. Santibáñez, C. Caroca y P. González. 2017a. Distritos agroclimáticos regiones de Biobío y La Araucanía pp: 27. En: Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo IV:

Regiones del Biobío y de La Araucanía. Universidad de Chile. FIA. Santiago, Chile.

21. Santibáñez, F., P. Santibáñez, C. Caroca y P. González. 2017b. Distritos agroclimáticos regiones de O'Higgins y del Maule pp: 29. En: Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule. Universidad de Chile. FIA. Santiago, Chile.
22. Souto, C., O. Lagos, E. Holzapfel, M.L. Maskey, L. Wunderlich, K. Shapiro, G. Marino, R. Snyder and D. Zaccaria. 2019. A modified surface energy balance to estimate crop transpiration and soil evaporation in micro-irrigated orchard [en línea]. *Water* 11(9): 1747(Art. N°). <<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/9/1747>>. [Consulta: 30 diciembre 2020].
23. USGS (USA). 2019a. EarthExplorer [en línea: programa computacional]. U.S. Department of the Interior. <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. [Consulta: 30 diciembre 2020].
24. USGS (USA). 2019b. Landsat 8 (L8): Data users handbook [en línea]. U.S. Department of the Interior <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf>. [Consulta: 20 noviembre 2020].
25. USGS (USA). 2020 EarthExplorer [en línea]. U.S. Geological Survey, USA. <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. [Consulta: 30 diciembre 2020].

8. ANEXOS Y APÉNDICES

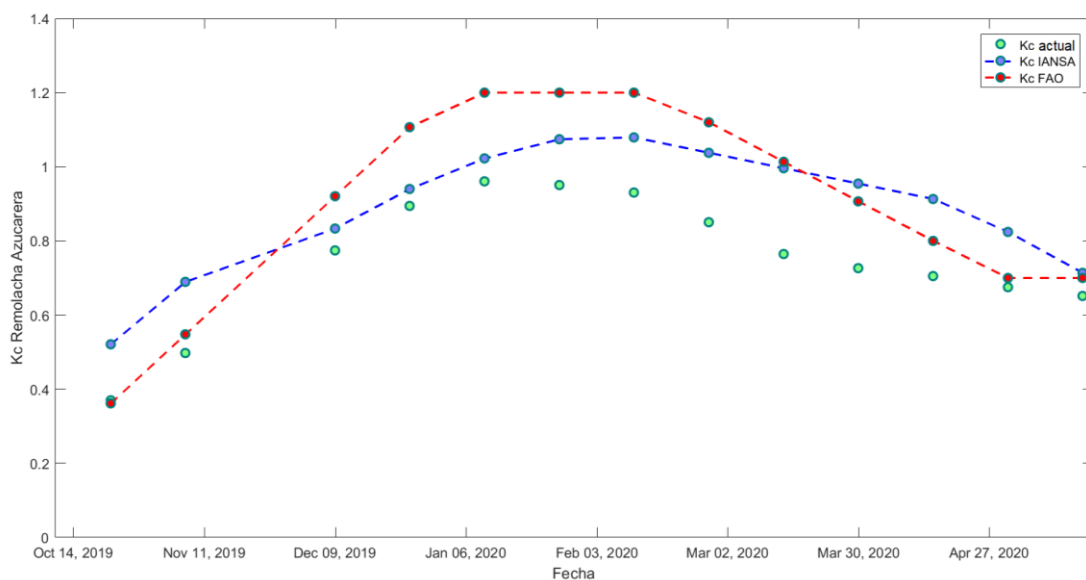


Figura 53. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote "1", perteneciente al sector 1 (VII Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.

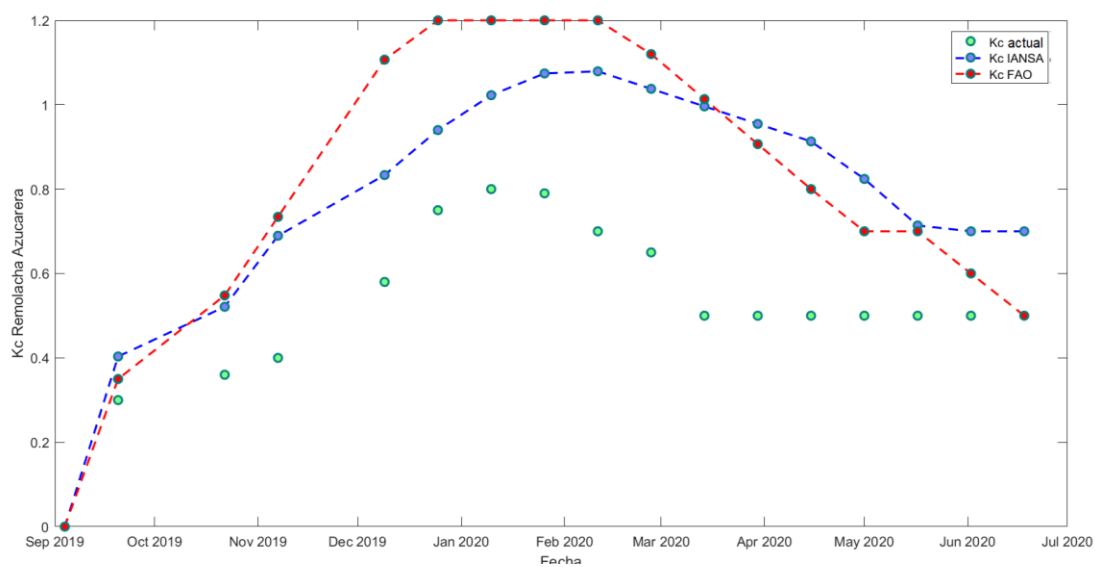


Figura 54. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote "2", perteneciente al sector 2 (VII Región del Maule). Fuente: Elaboración propia.

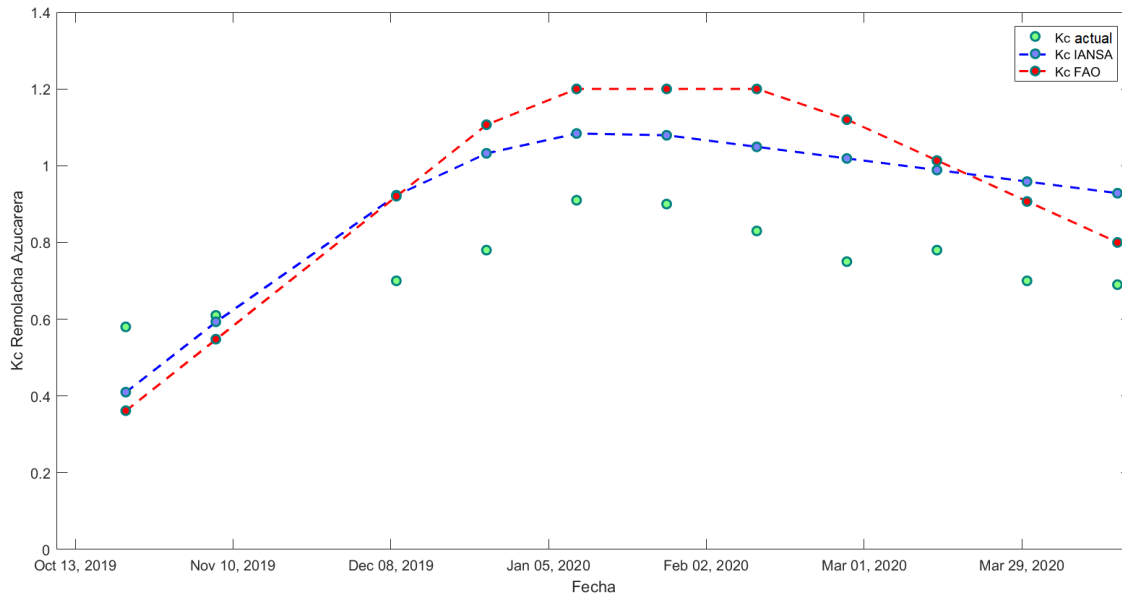


Figura 55. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “3”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

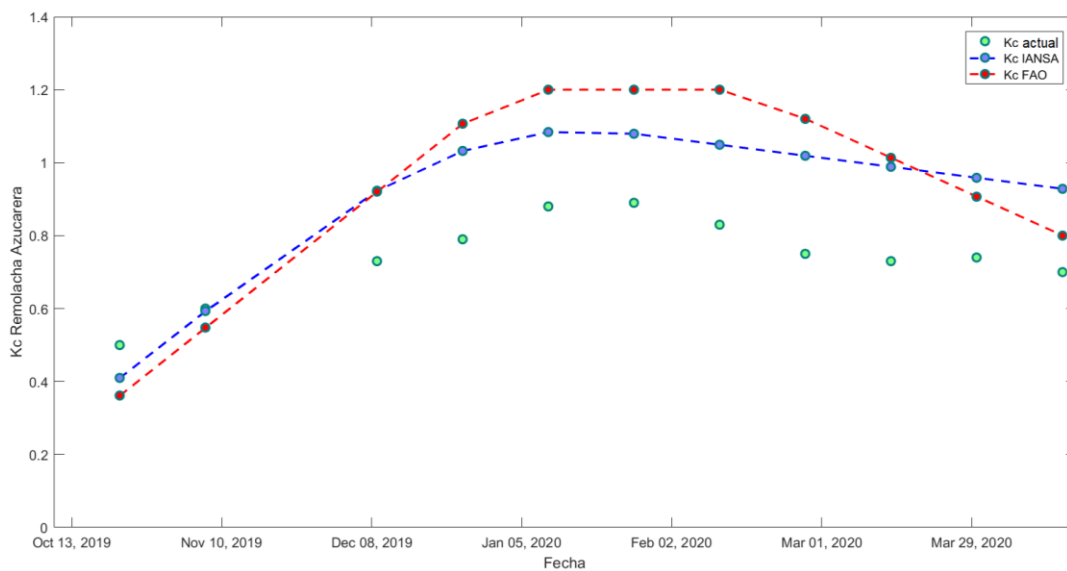


Figura 56. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “4”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

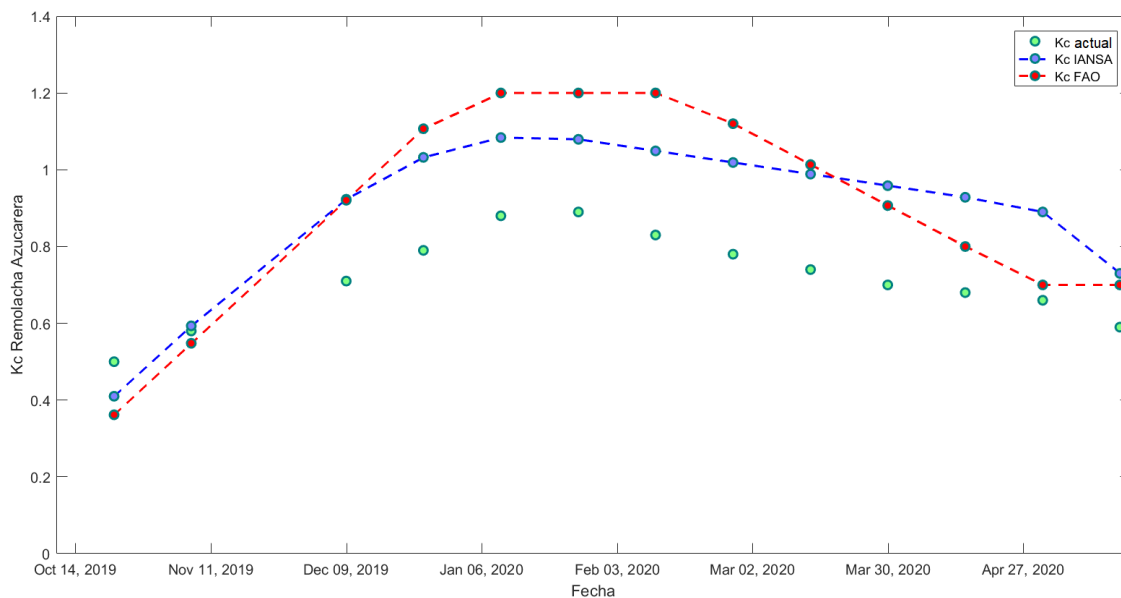


Figura 57. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “5”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

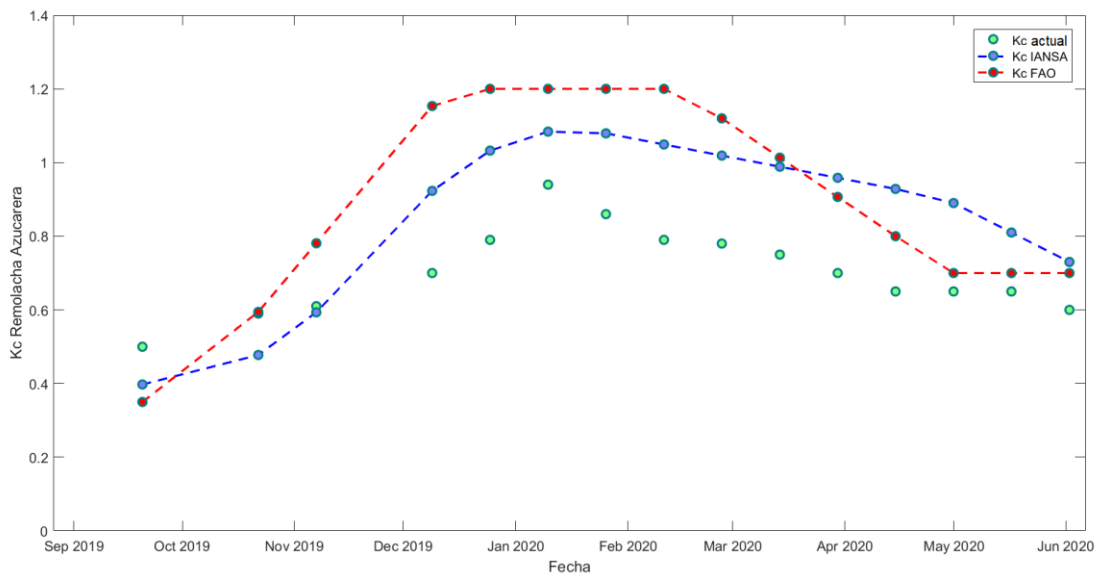


Figura 58. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para para el pivote “6”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

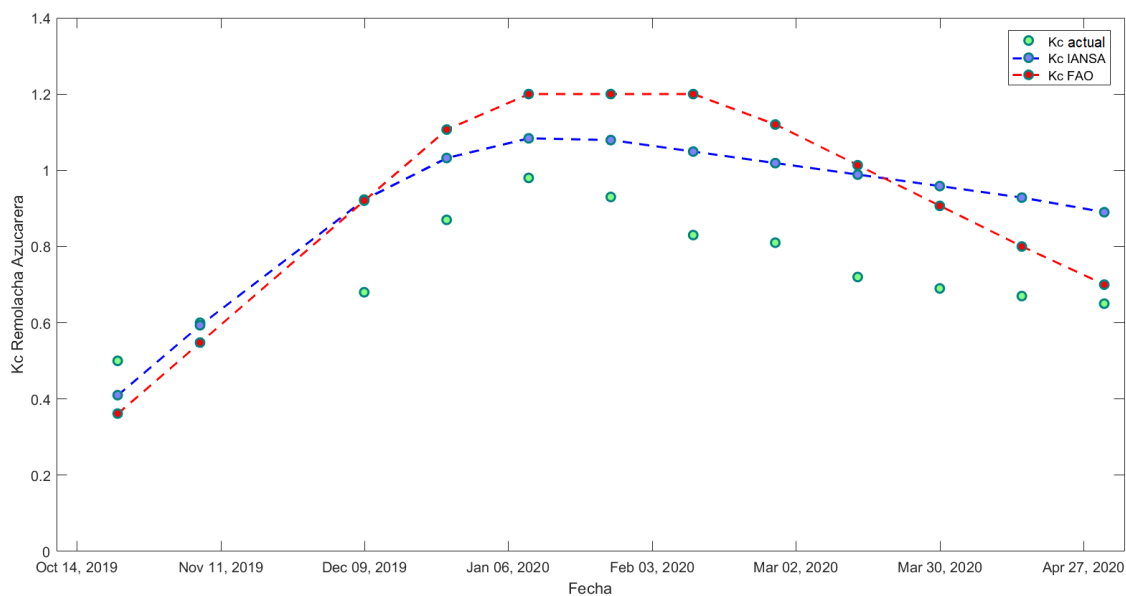


Figura 59. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote 7, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

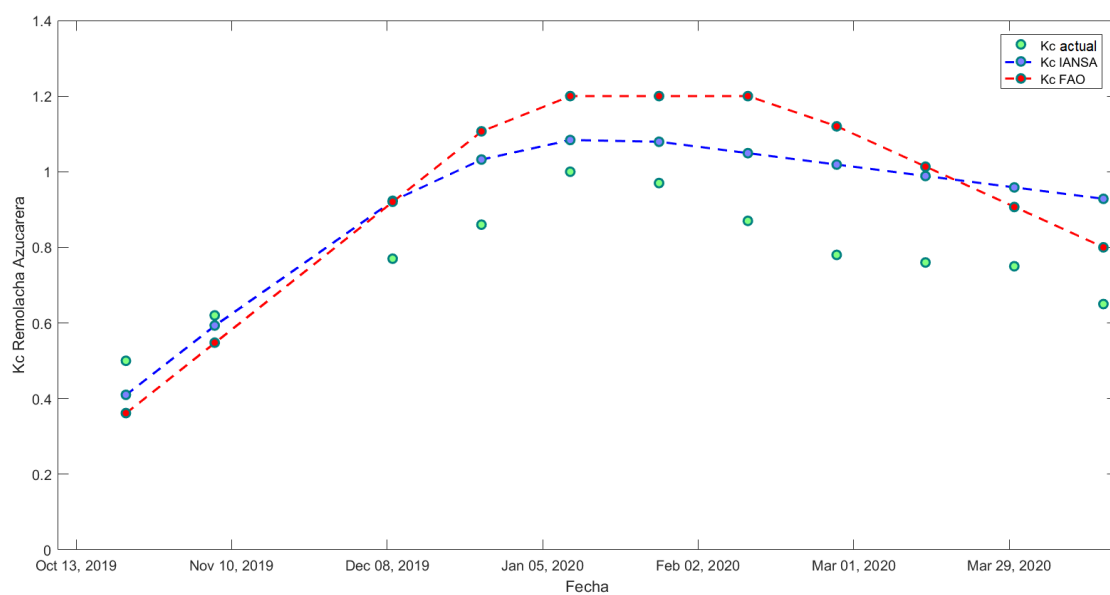


Figura 60. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote "8", perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

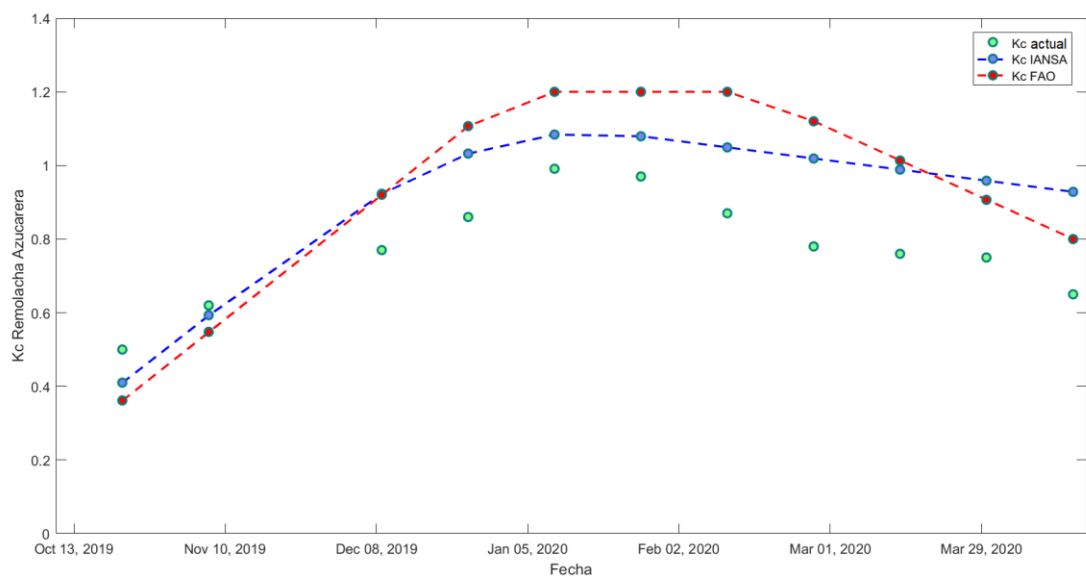


Figura 61. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “8-b”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

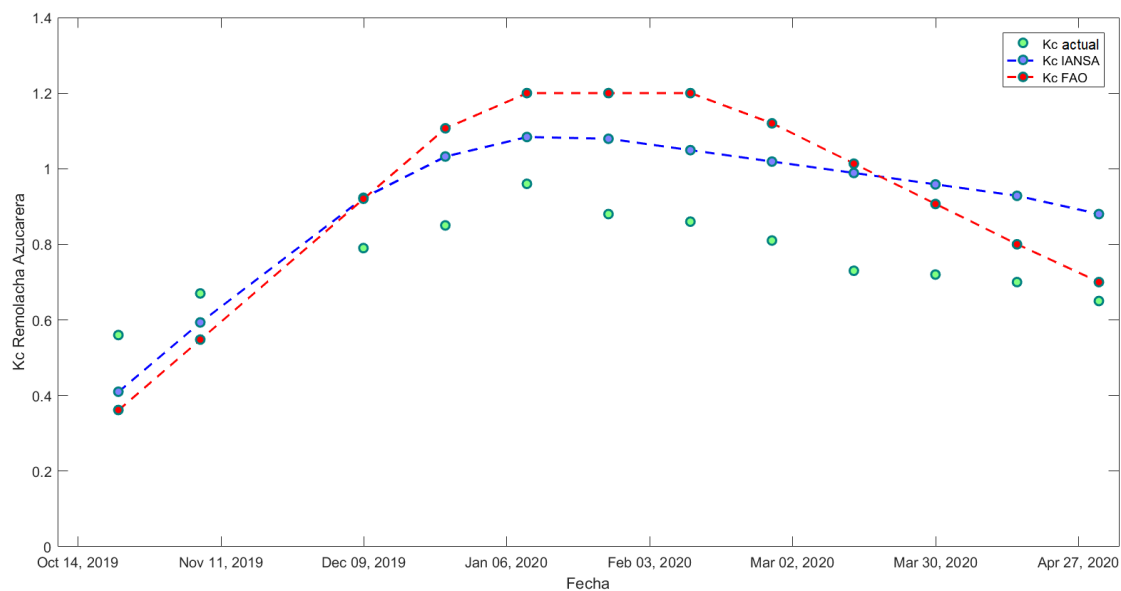


Figura 62. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “9”, perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

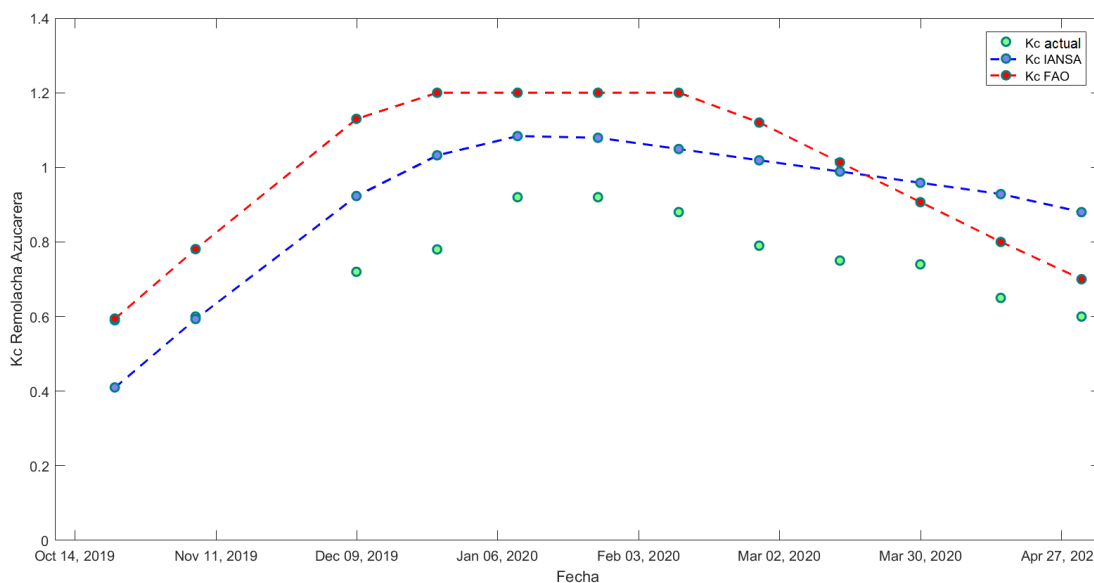


Figura 63. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “10” perteneciente al sector 3 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

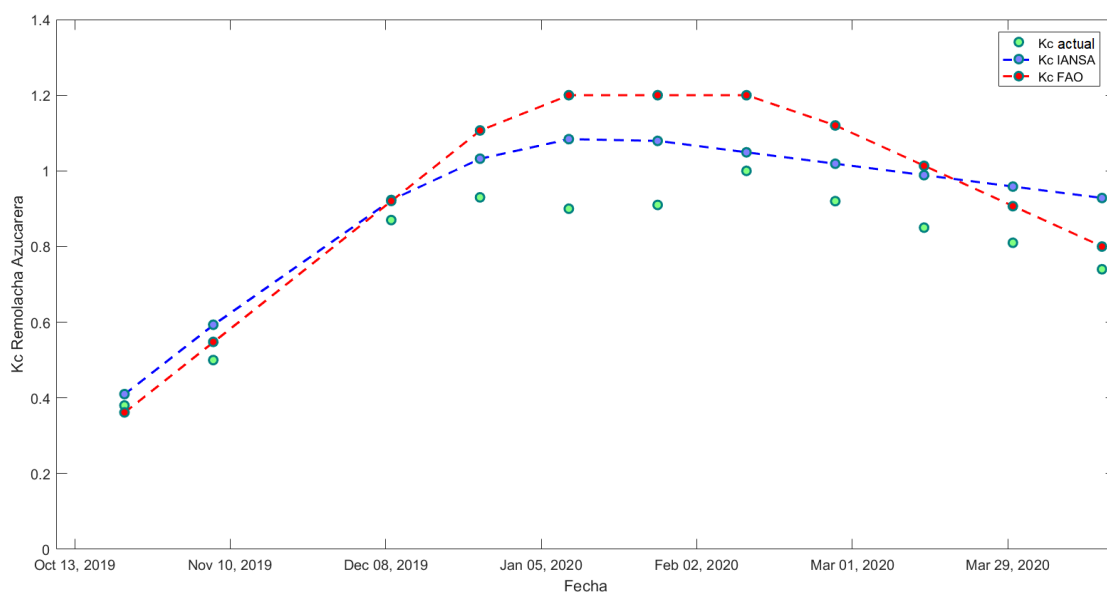


Figura 64. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “11”, perteneciente al sector 4 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

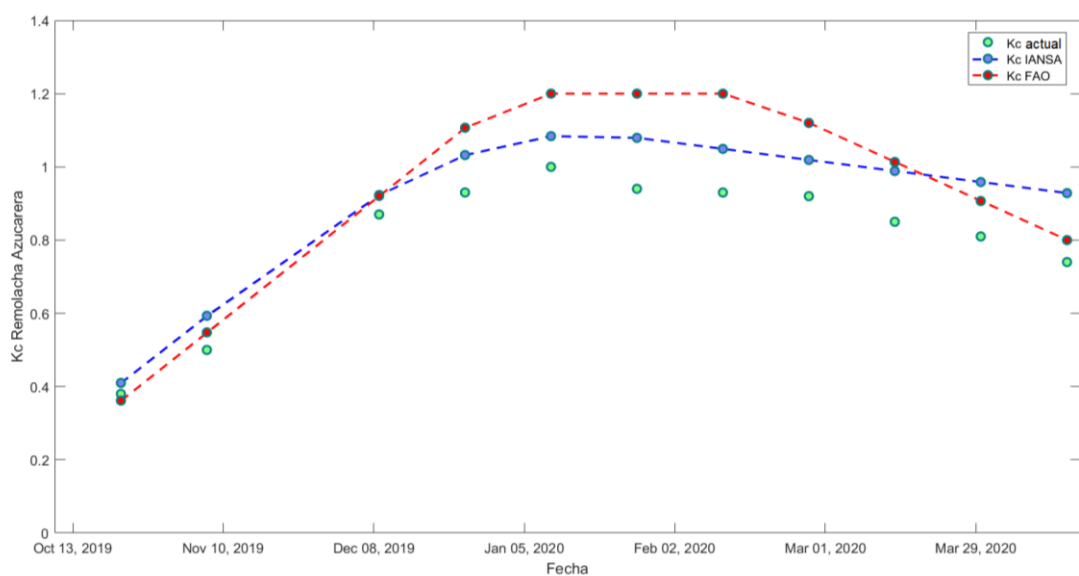


Figura 65. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “11-b”, perteneciente al sector 4 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

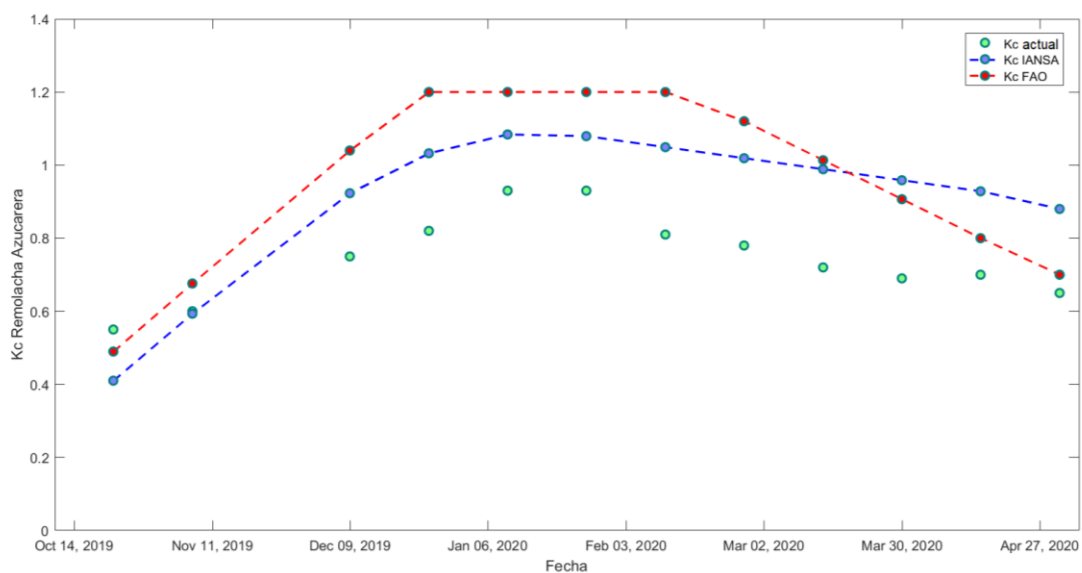


Figura 66. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “12”, perteneciente al sector 4 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

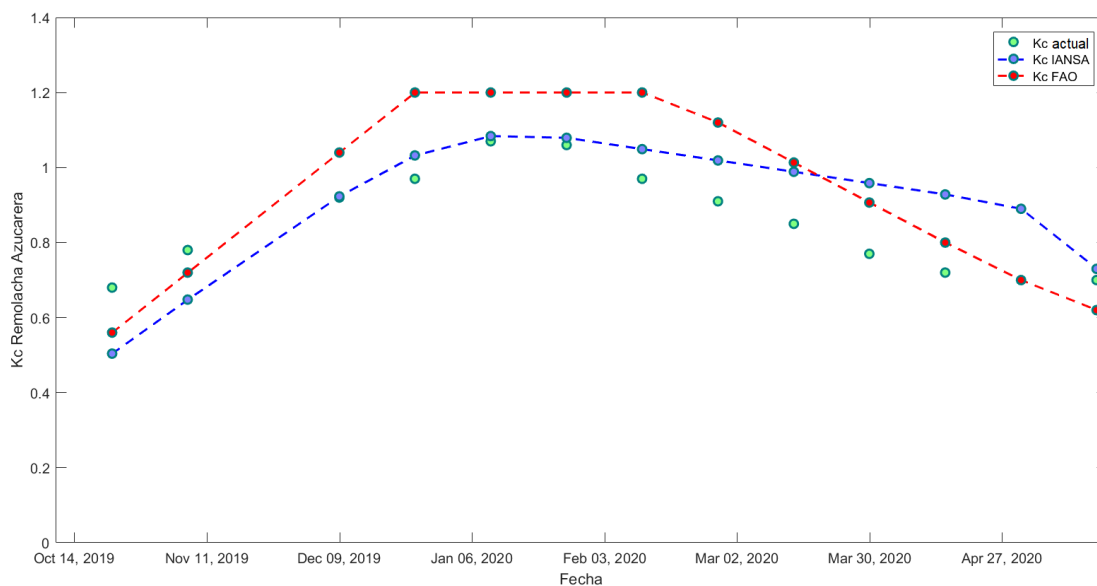


Figura 67. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “13”, perteneciente al sector 5 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

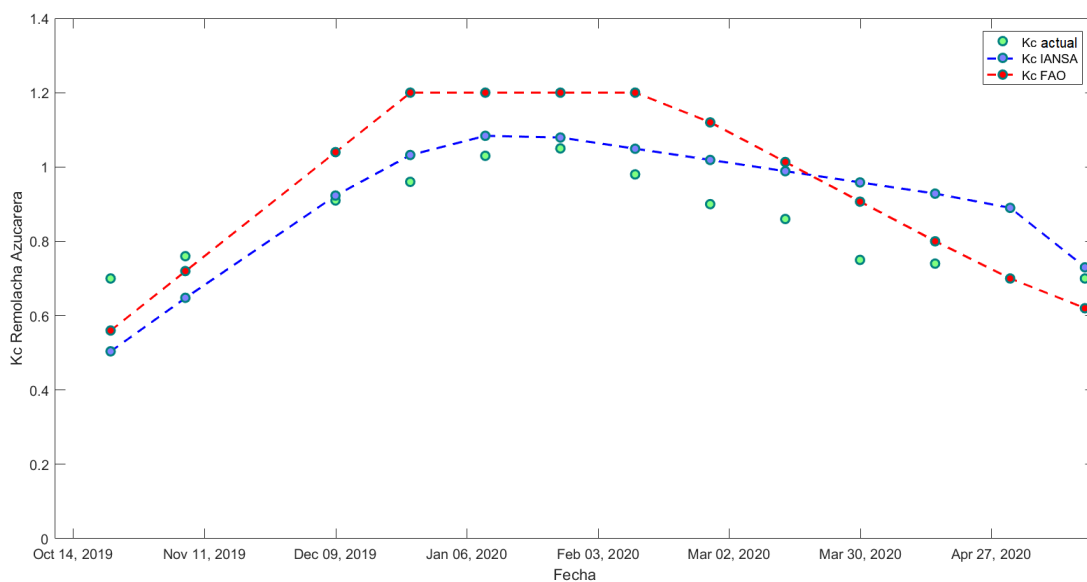


Figura 68. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “13-b”, perteneciente al sector 5 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

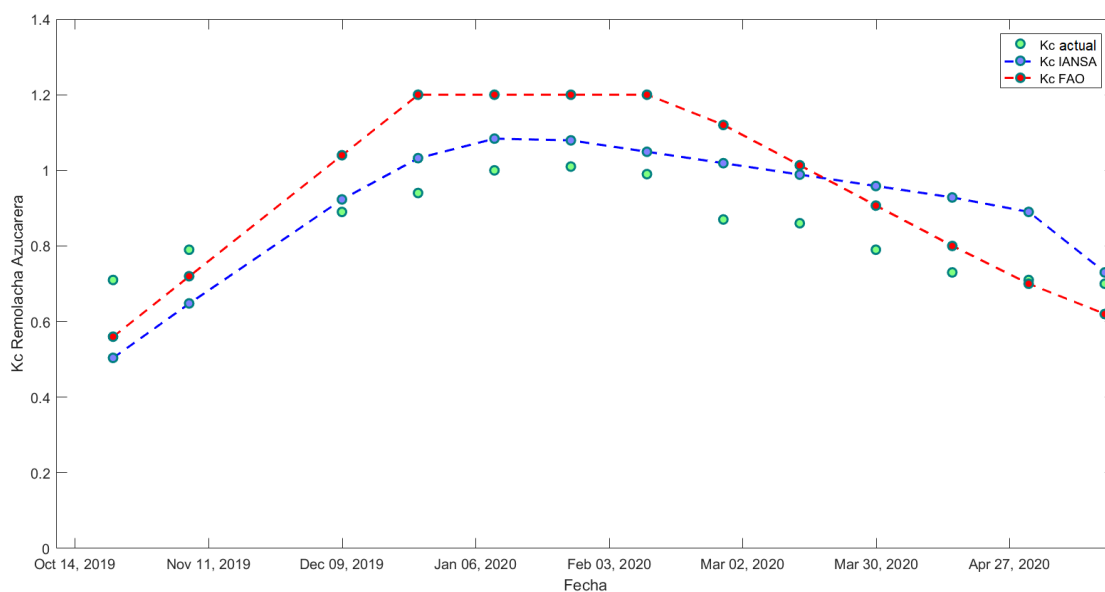


Figura 69. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “13-c”, perteneciente al sector 5 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

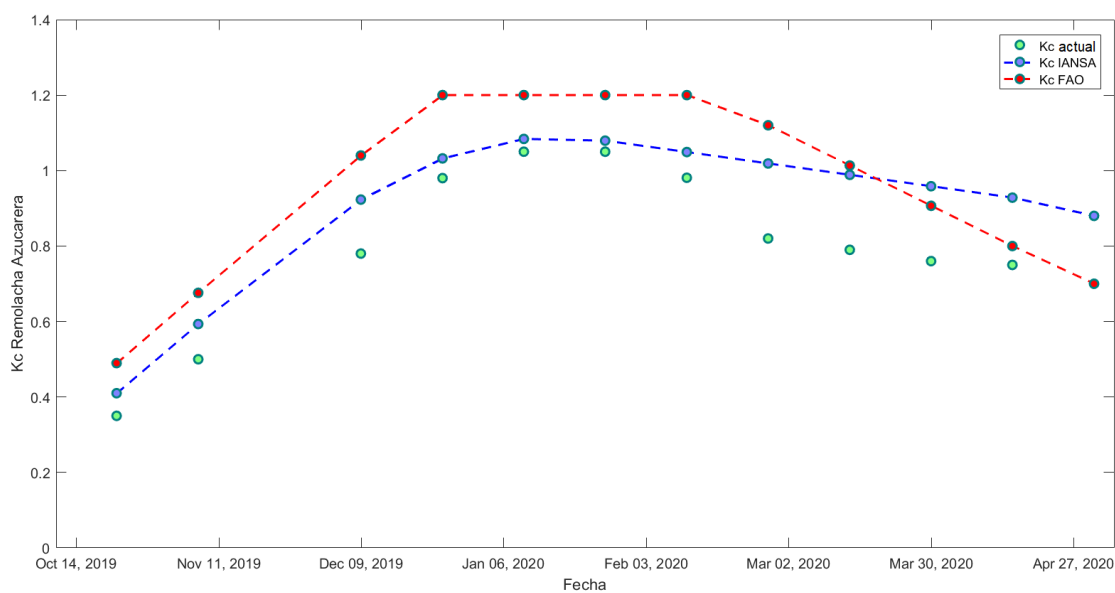


Figura 70. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “14”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

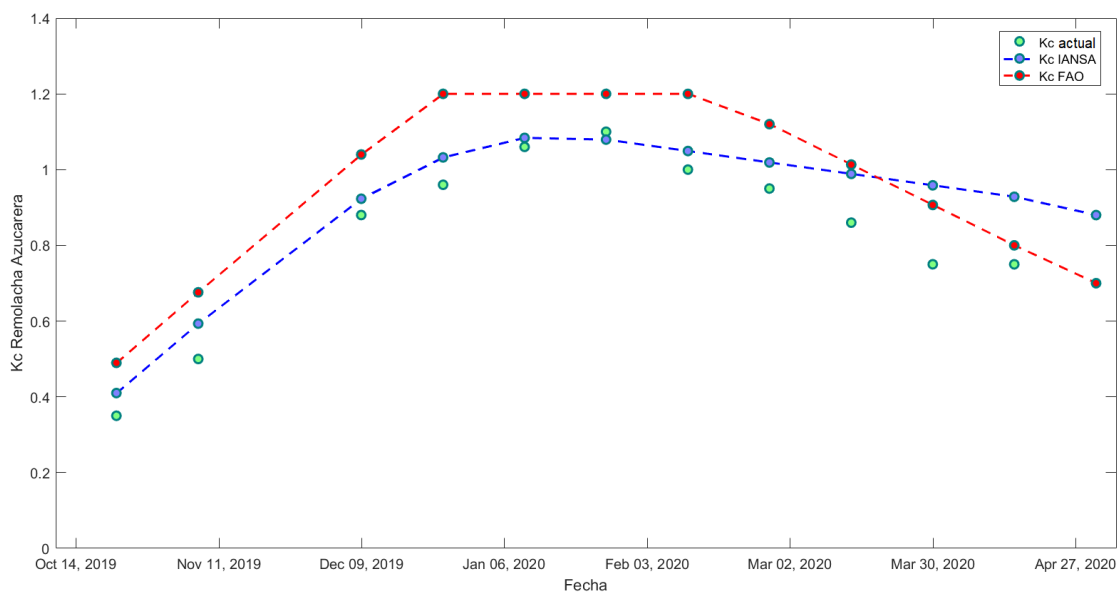


Figura 71. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “15”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

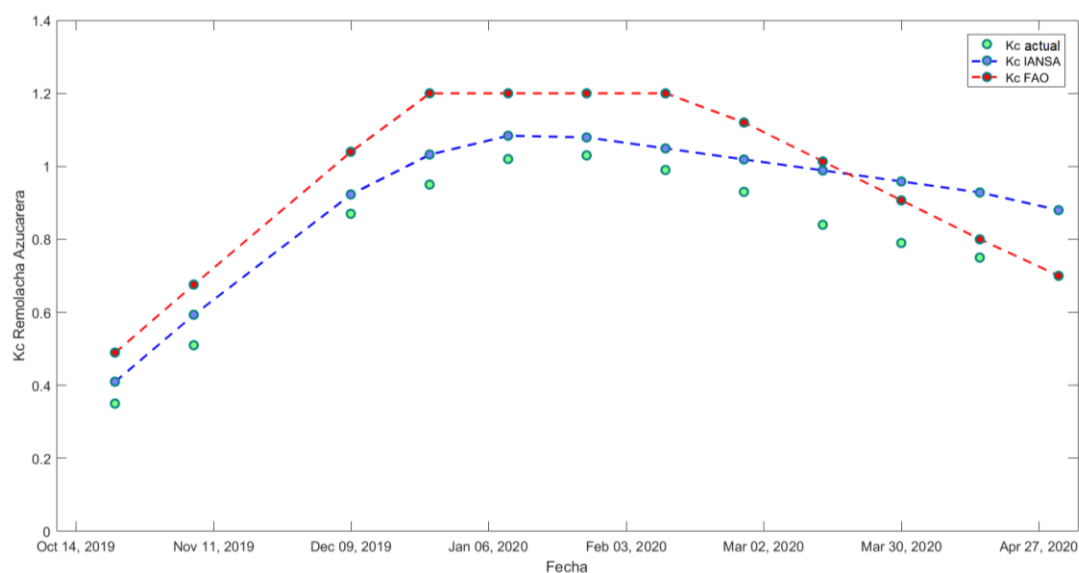


Figura 72. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “15-b”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

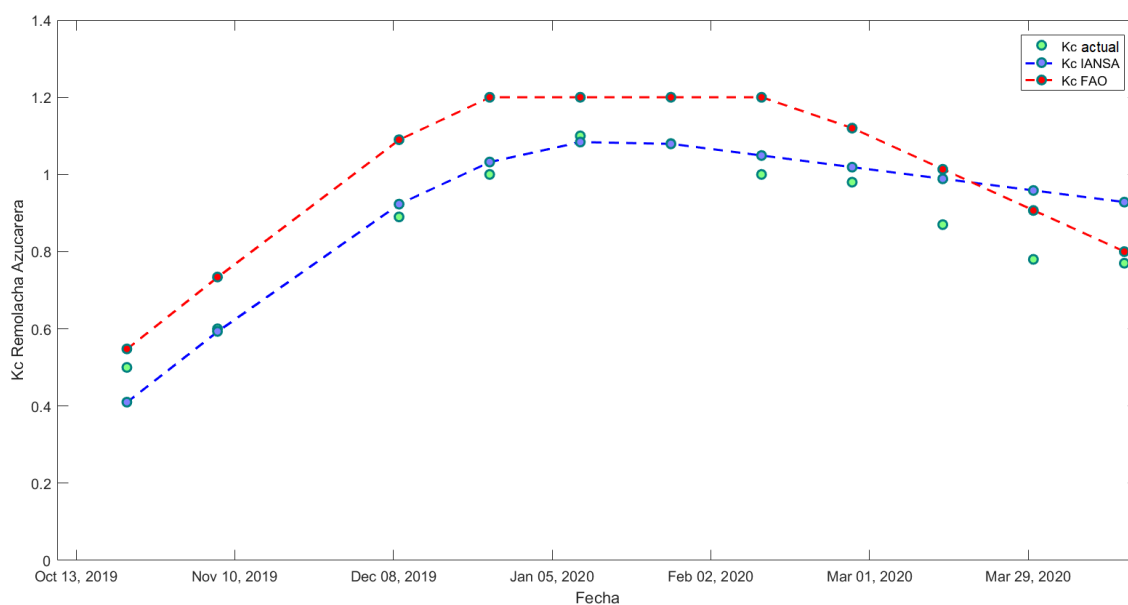


Figura 73. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “16”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

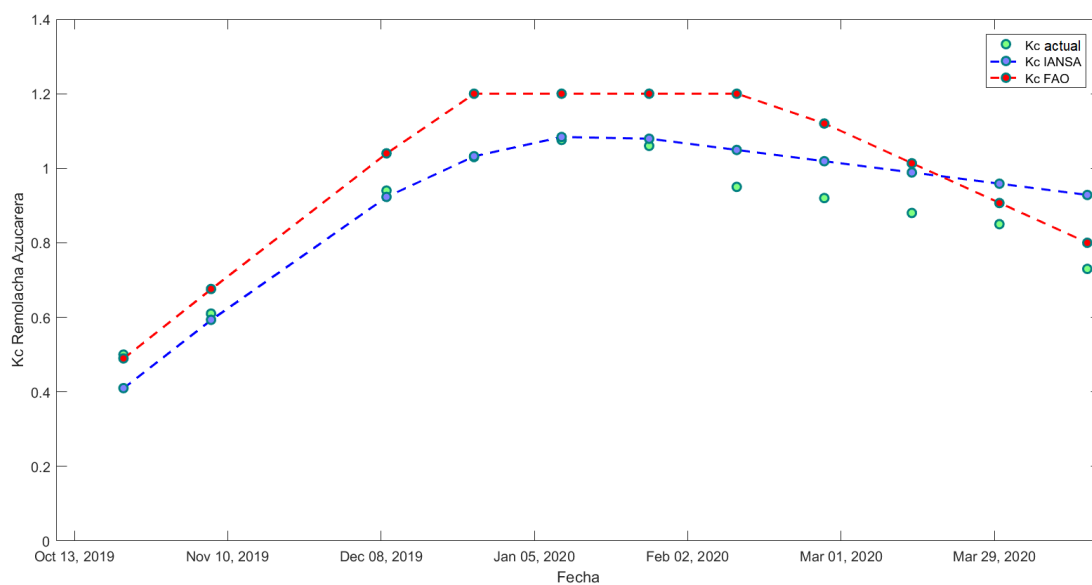


Figura 74. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “17”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

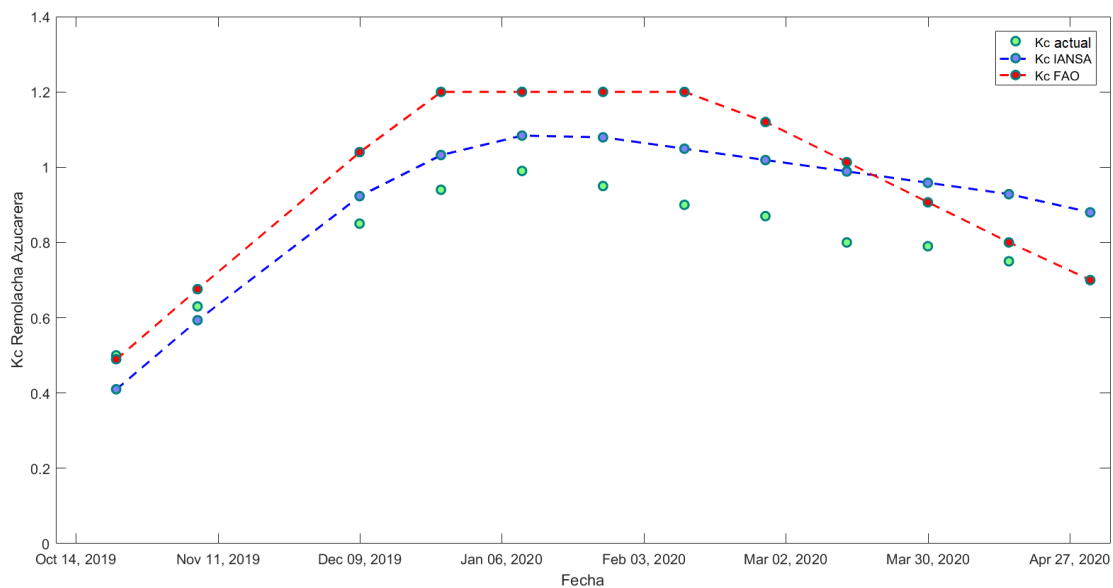


Figura 75. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “18”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

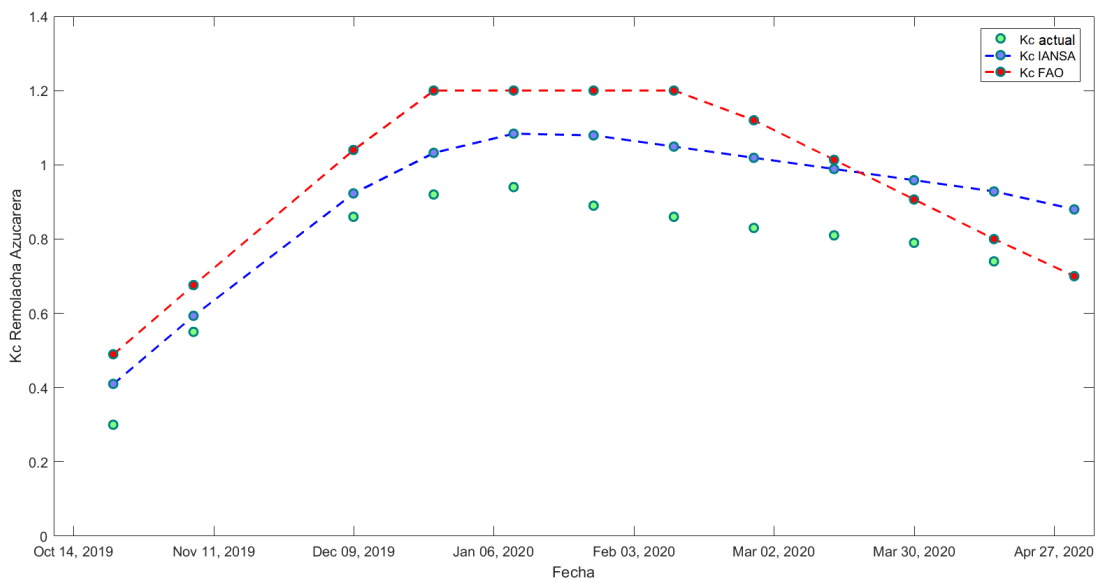


Figura 76. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “19”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

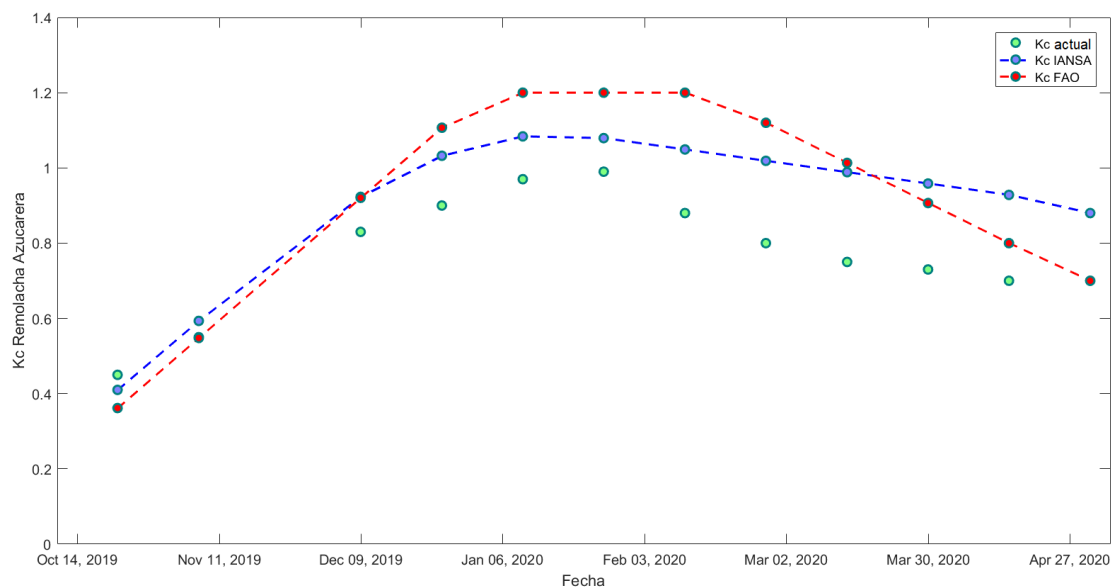


Figura 77. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “20”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

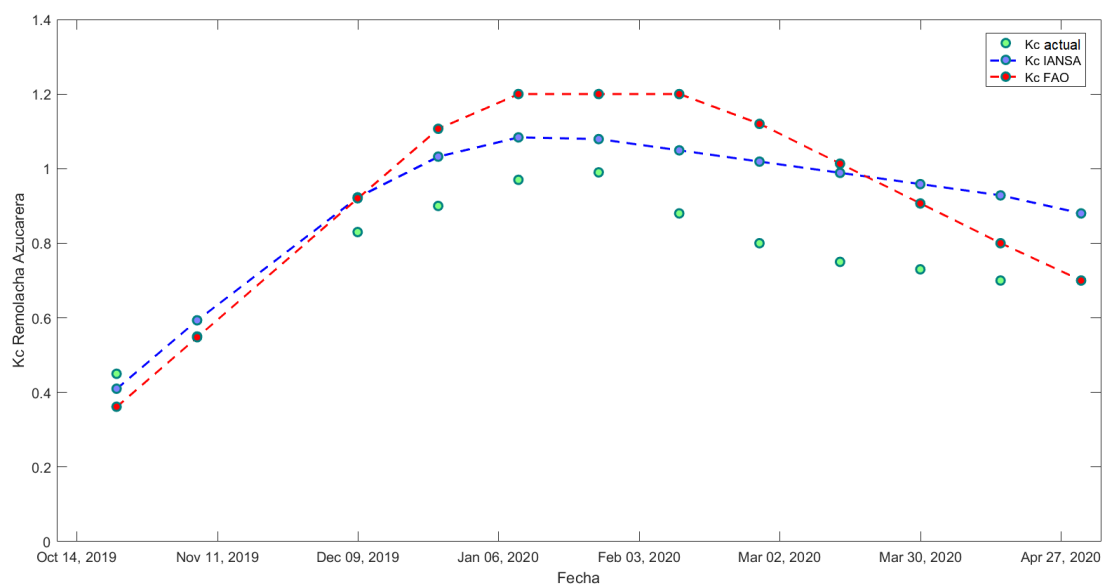


Figura 78. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “20-b”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

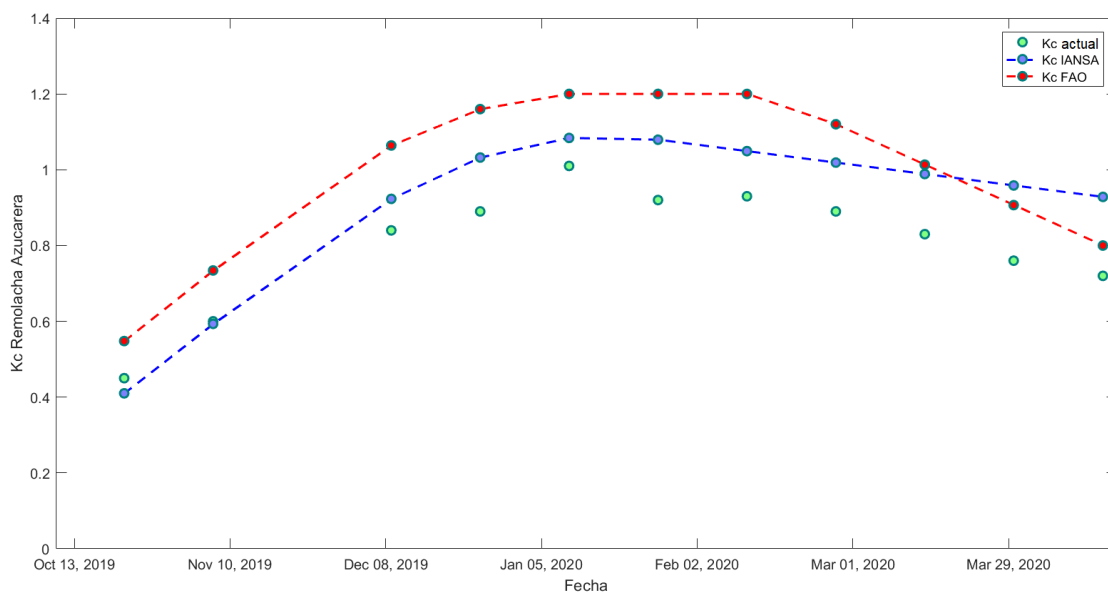


Figura 79. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “21”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

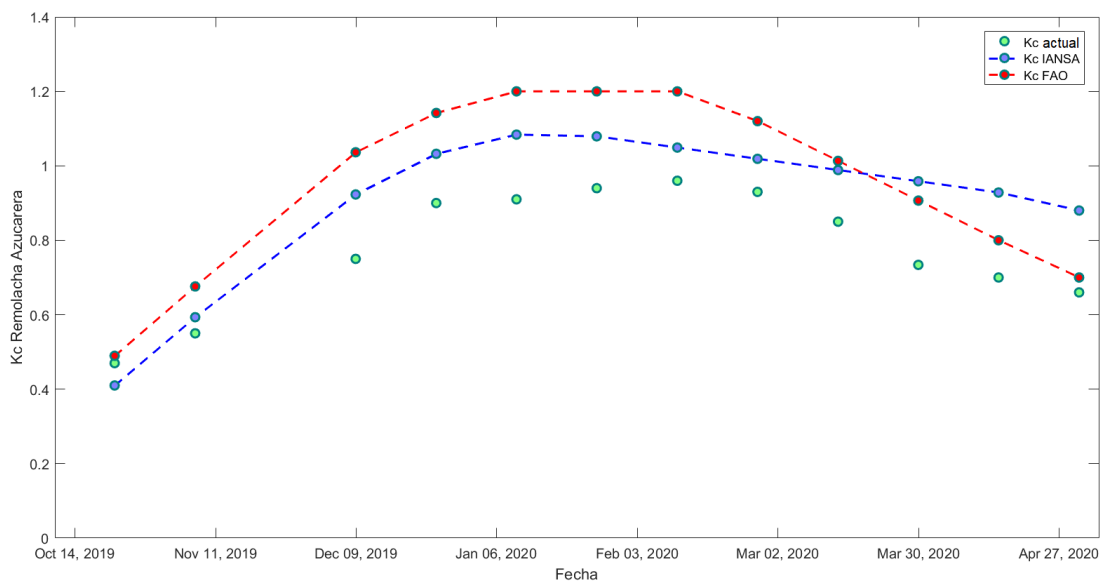


Figura 80. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “22”, perteneciente al sector 6 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

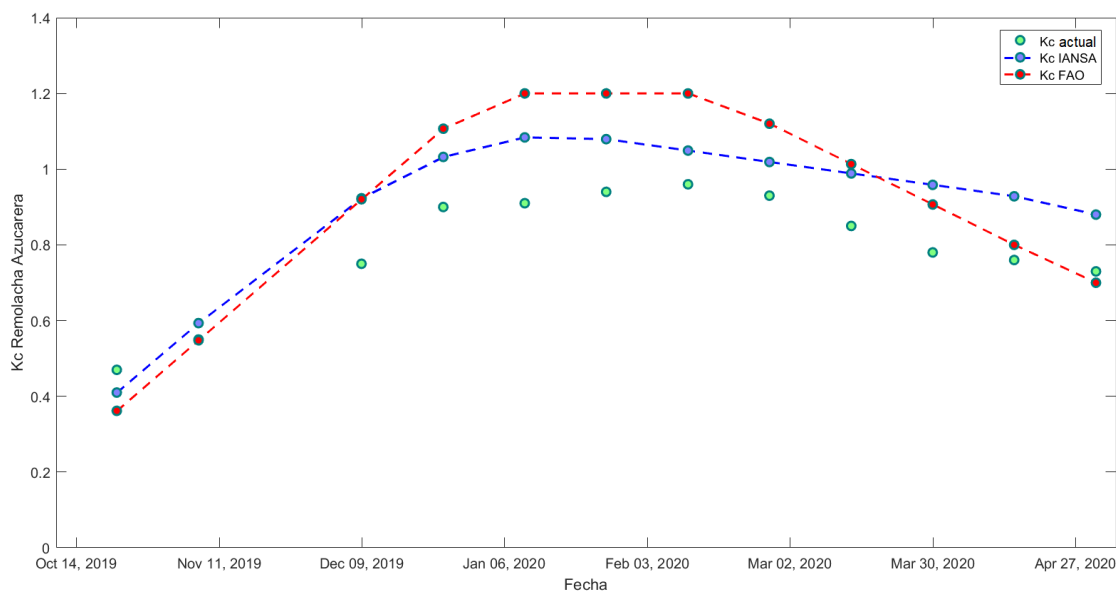


Figura 81. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para para el pivote “23”, perteneciente al sector 7 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

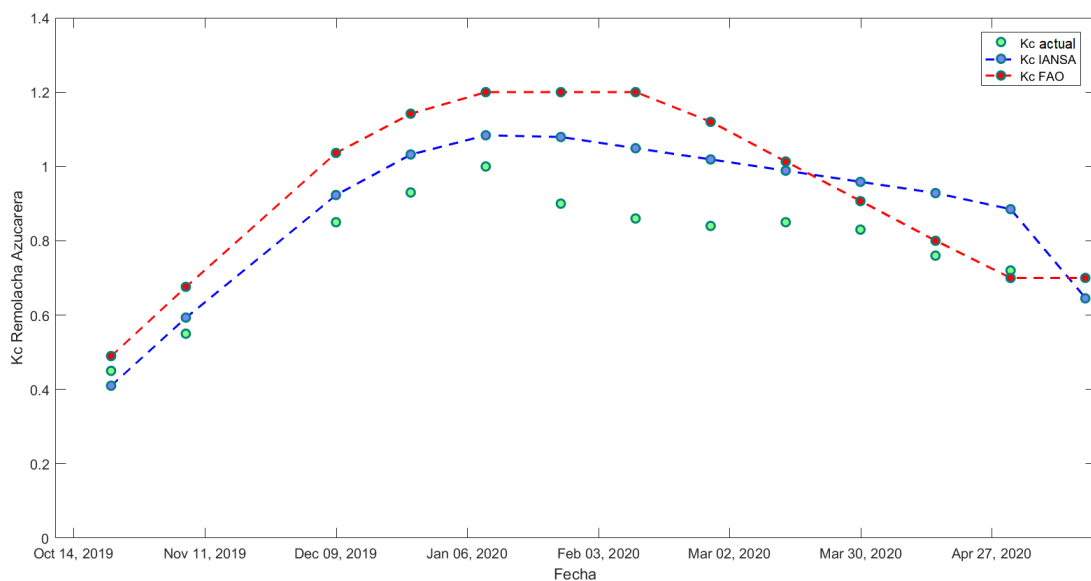


Figura 82. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “24”, perteneciente al sector 7 (Región de Ñuble). Fuente: Elaboración propia.

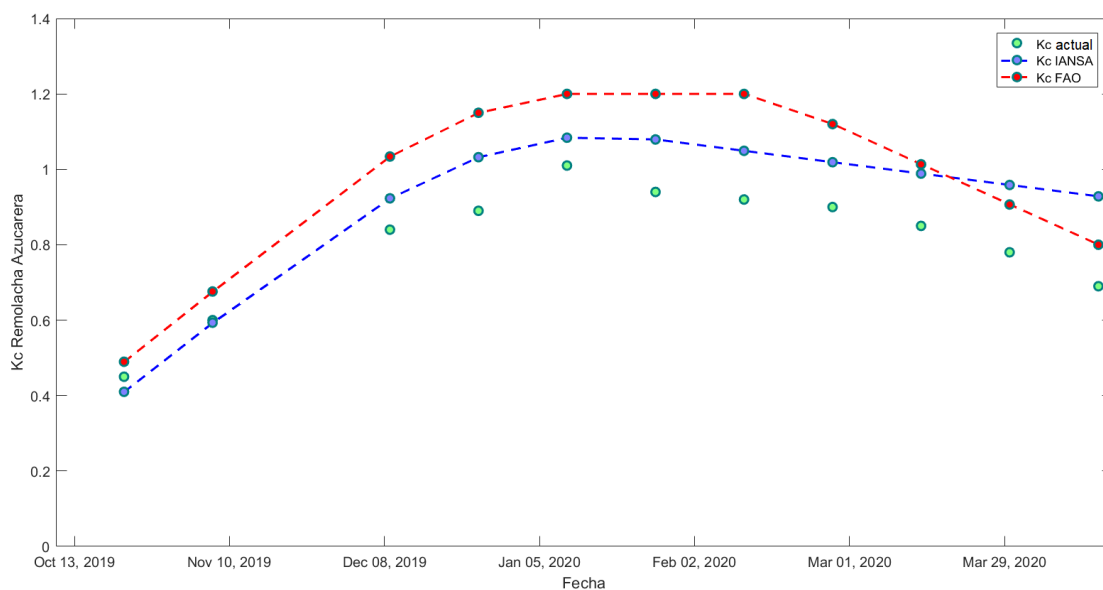


Figura 83. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote "25", perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

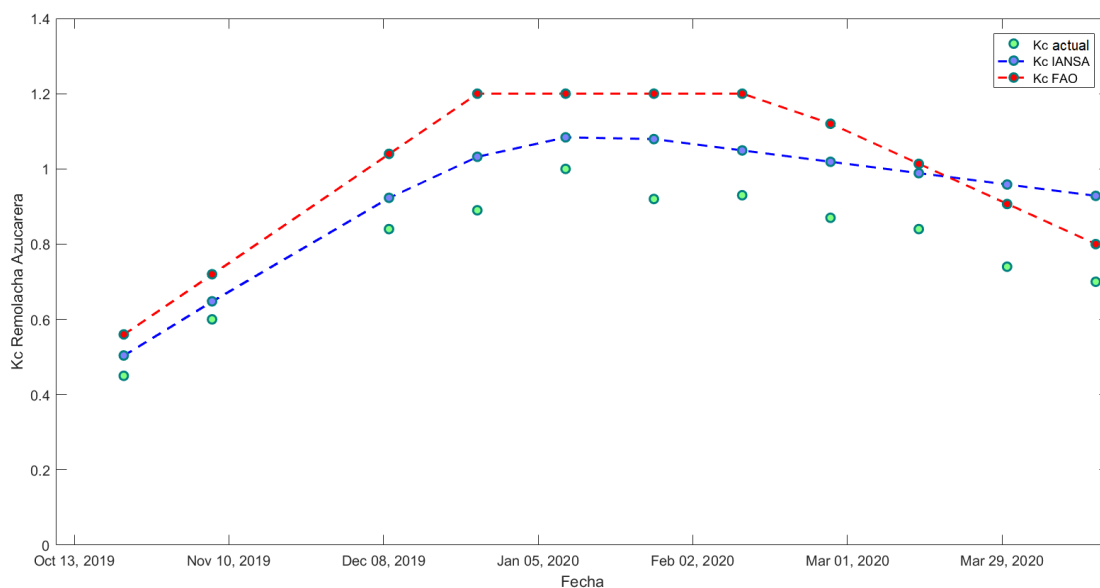


Figura 84. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote "26", perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

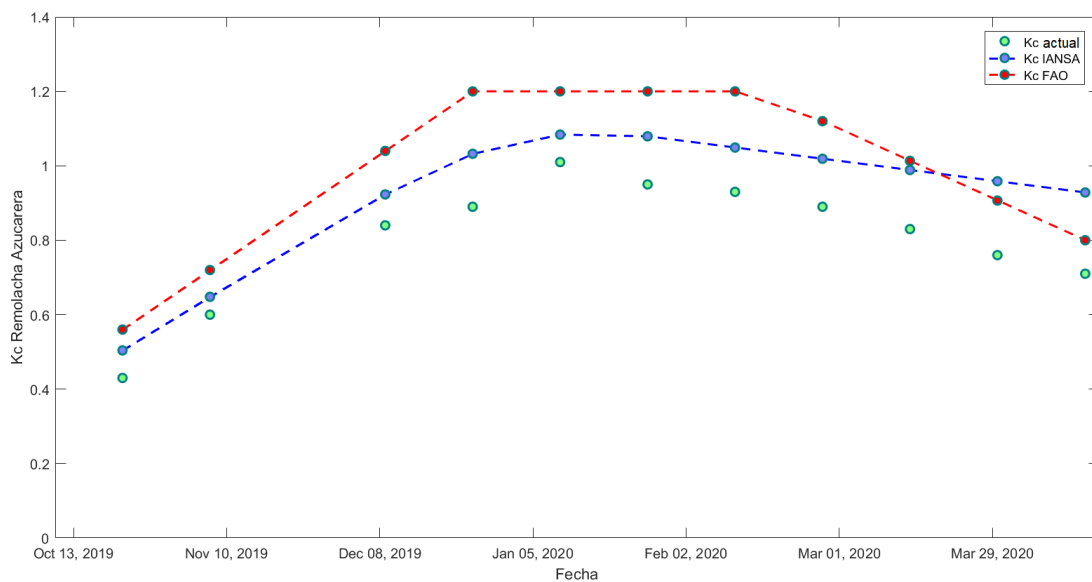


Figura 85. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote "27", perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

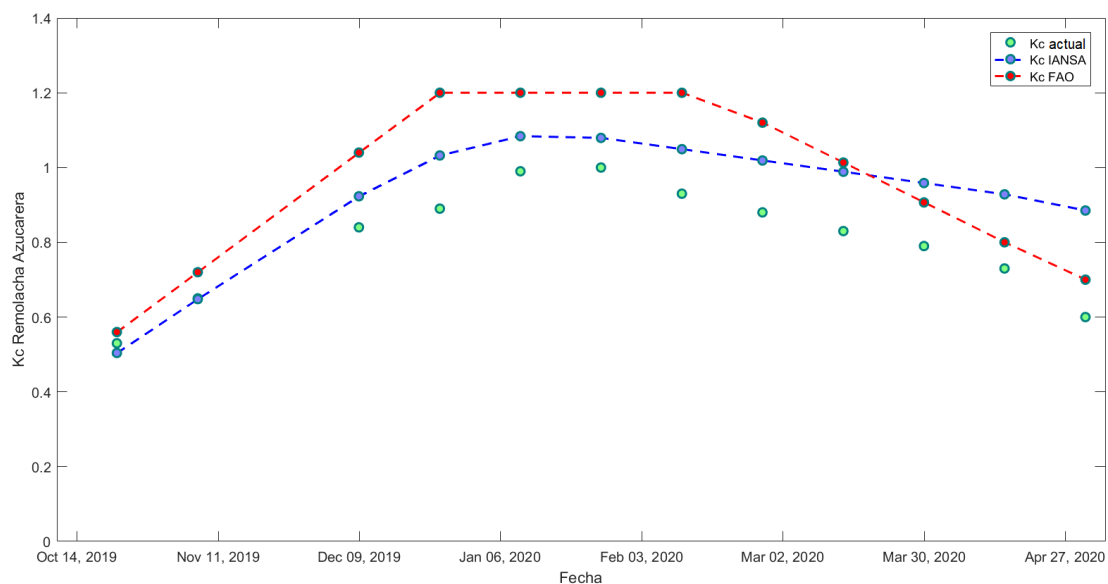


Figura 86. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote "28", perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

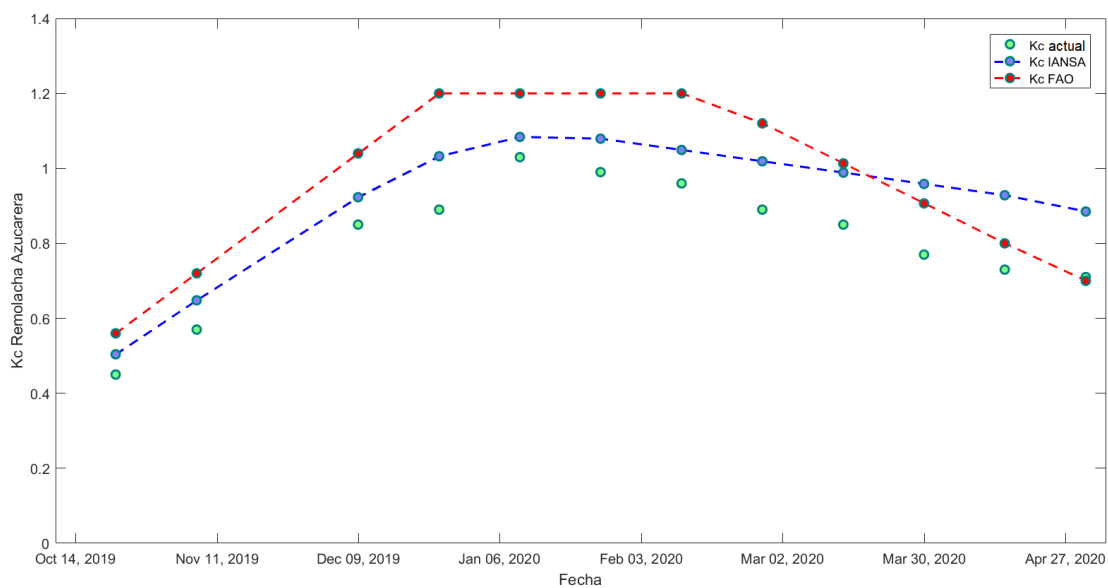


Figura 87. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “29”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

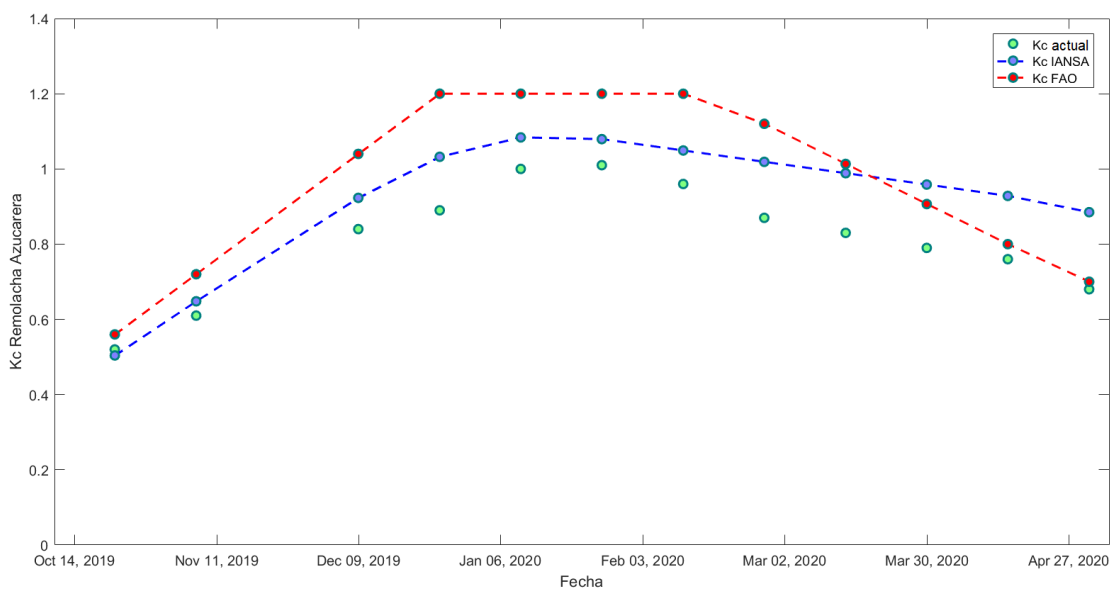


Figura 88. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “30”, perteneciente al sector 8 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

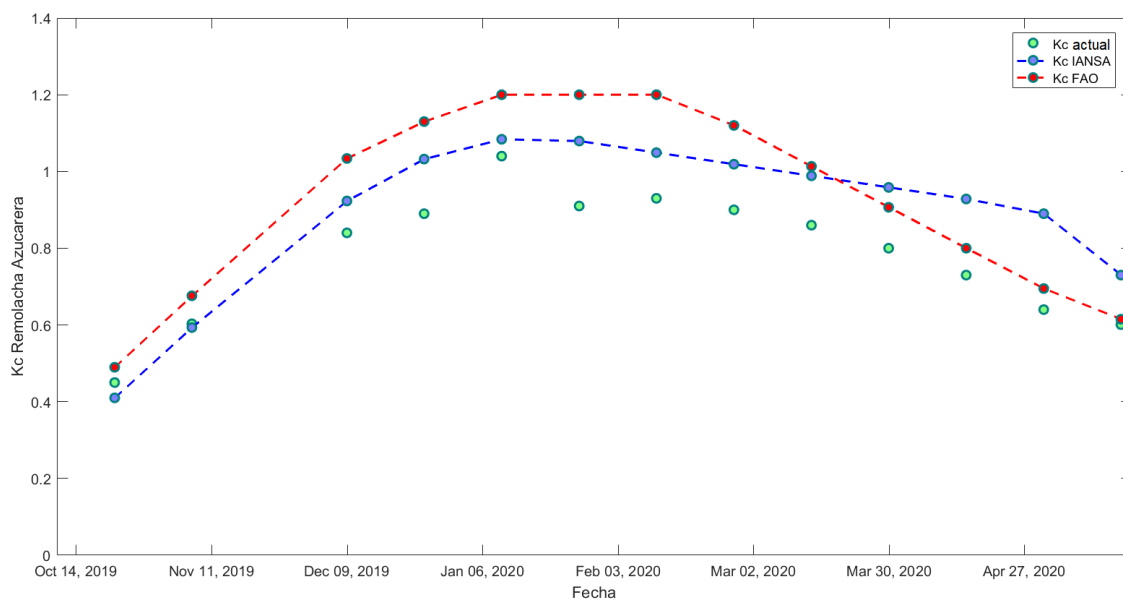


Figura 89. Coeficiente de cultivo potencial (Kc FAO), actual (Kc actual) e IANSA (Kc IANSA), para el pivote “31”, perteneciente al sector 9 (Región del Biobío). Fuente: Elaboración propia.

9. ANEXO DIGITAL

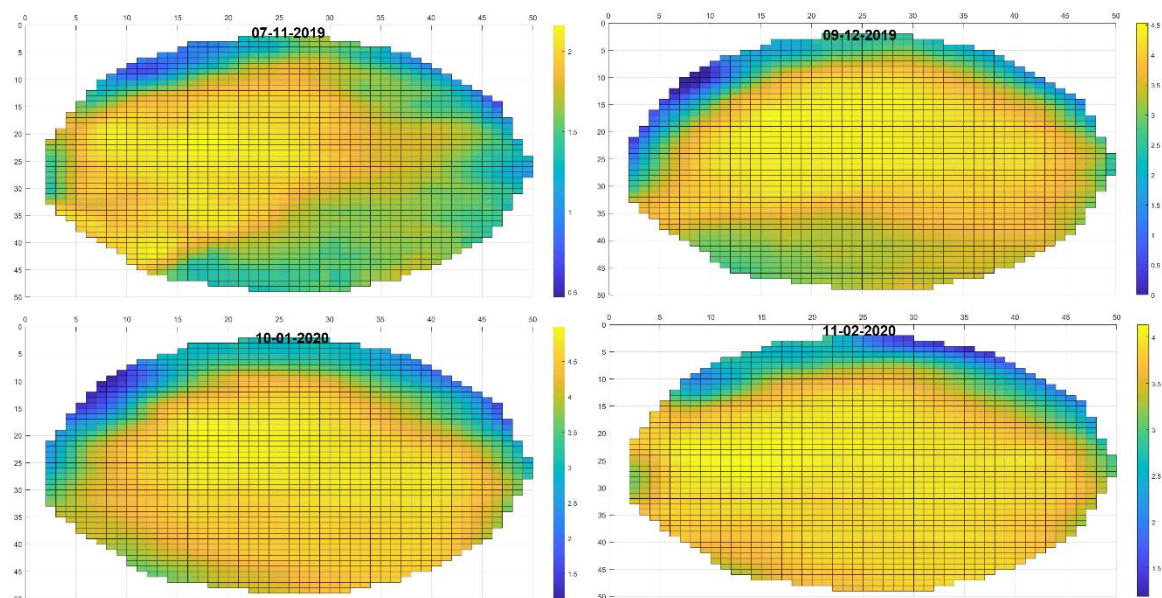


Figura 90. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) por píxeles en pivote “2”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

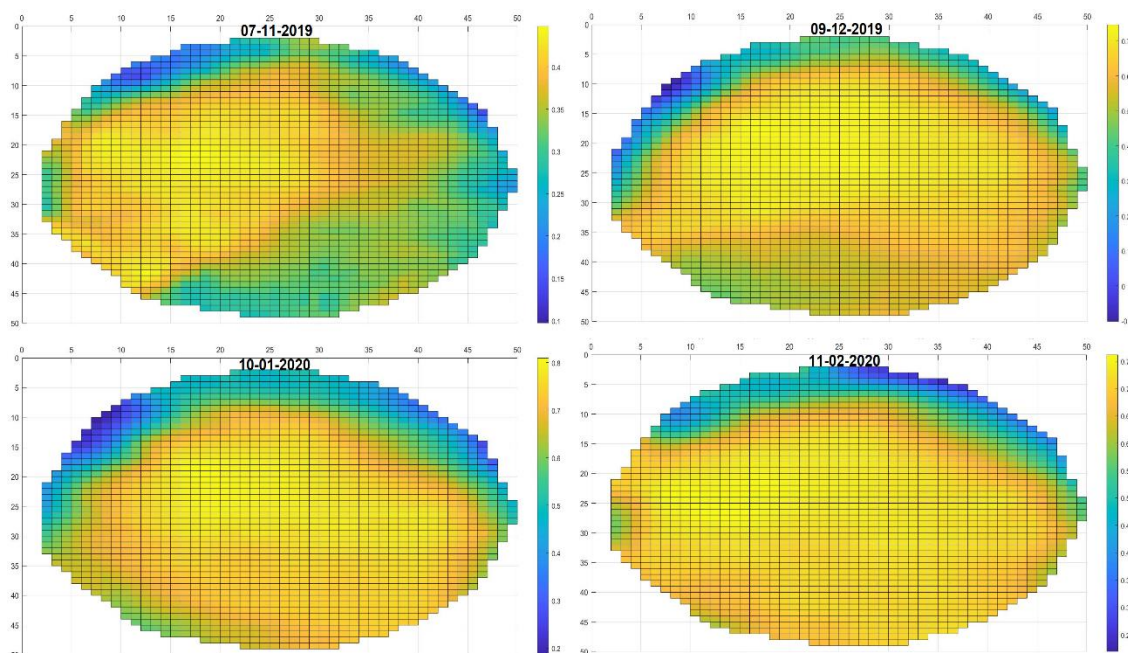


Figura 91. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "2", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

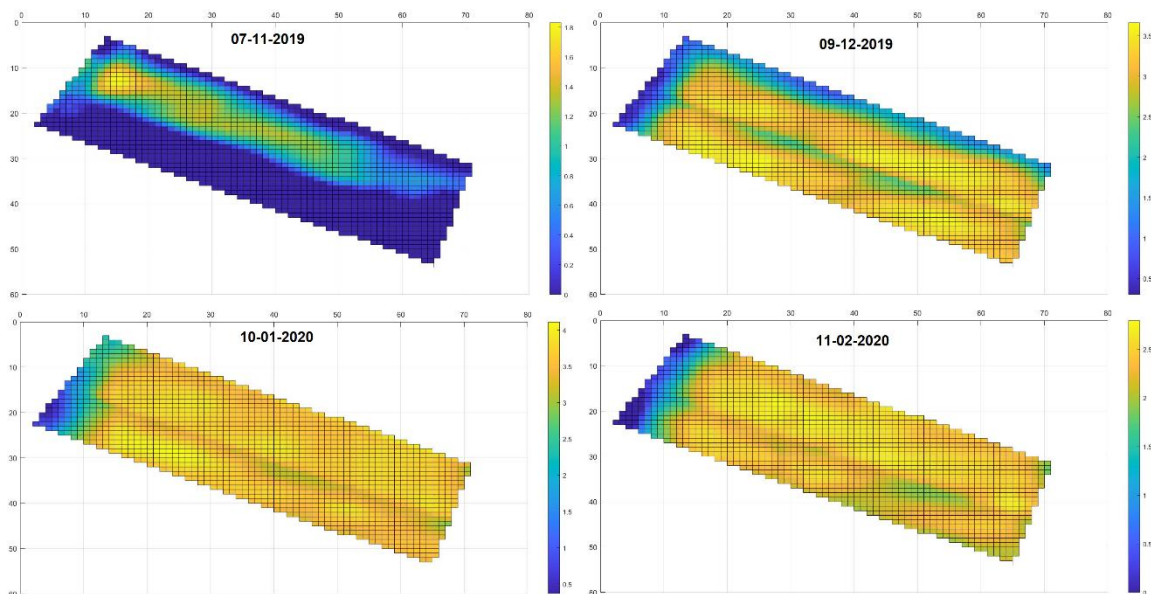


Figura 92. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "3", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

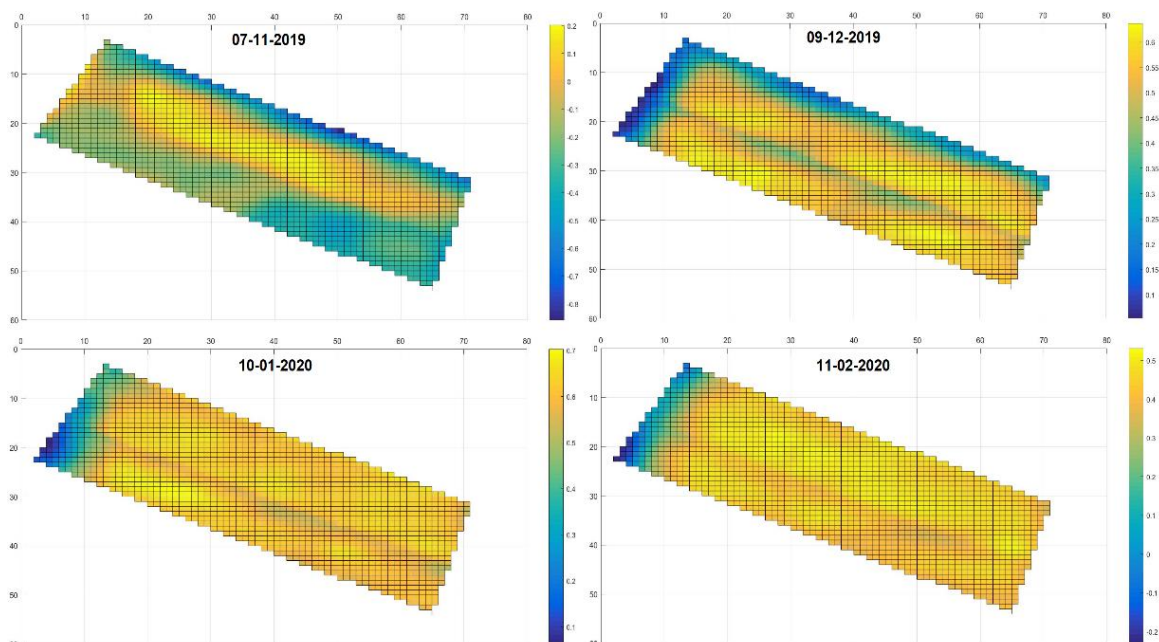


Figura 93. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote “3”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

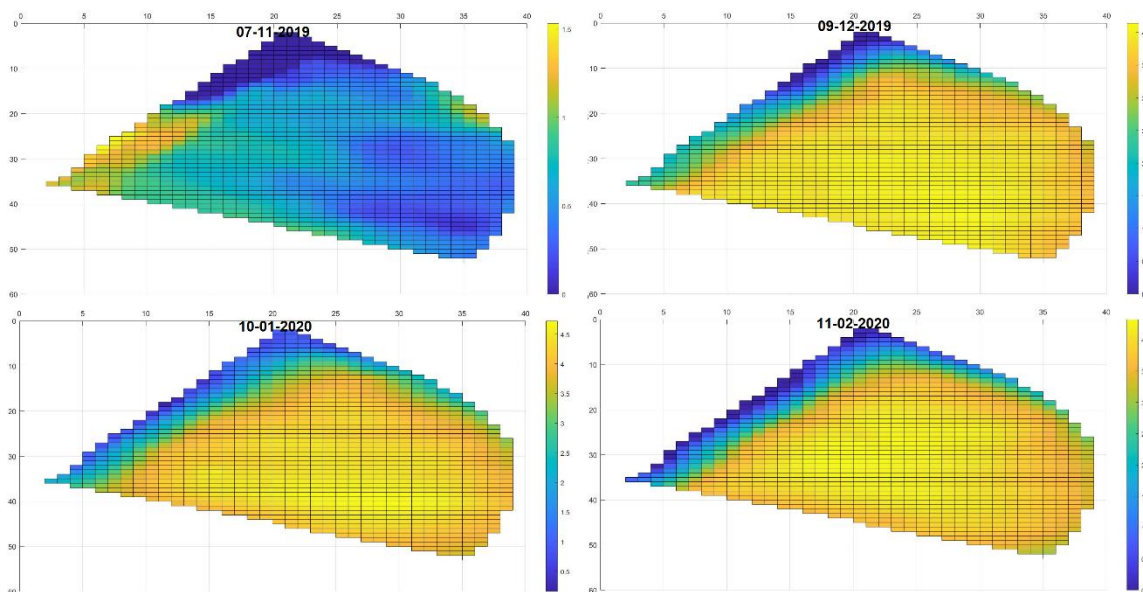


Figura 94. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote “4”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

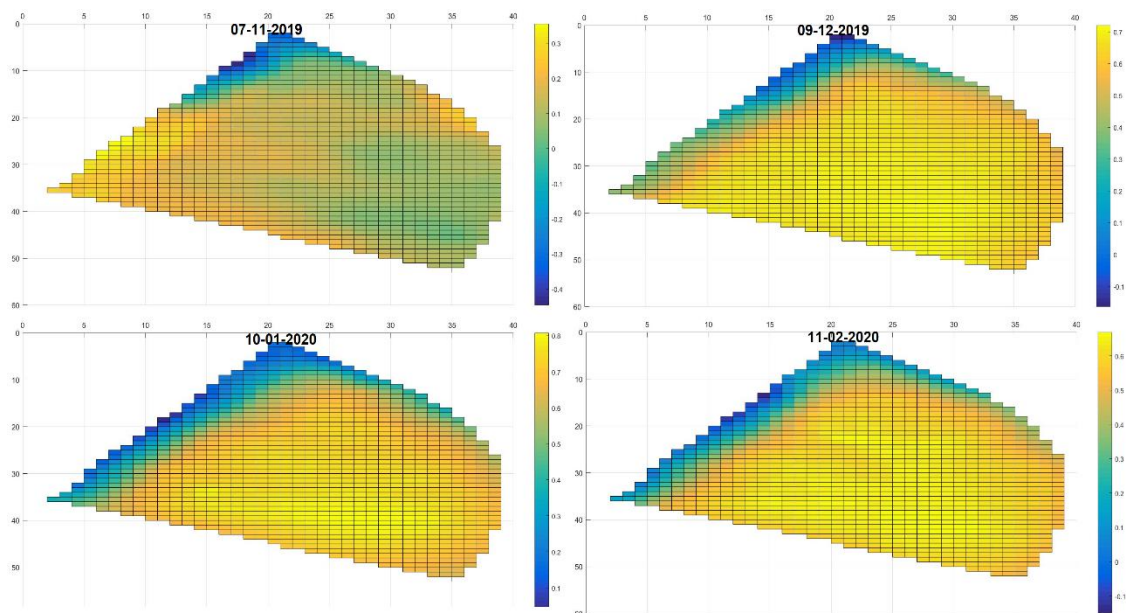


Figura 95. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "4", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

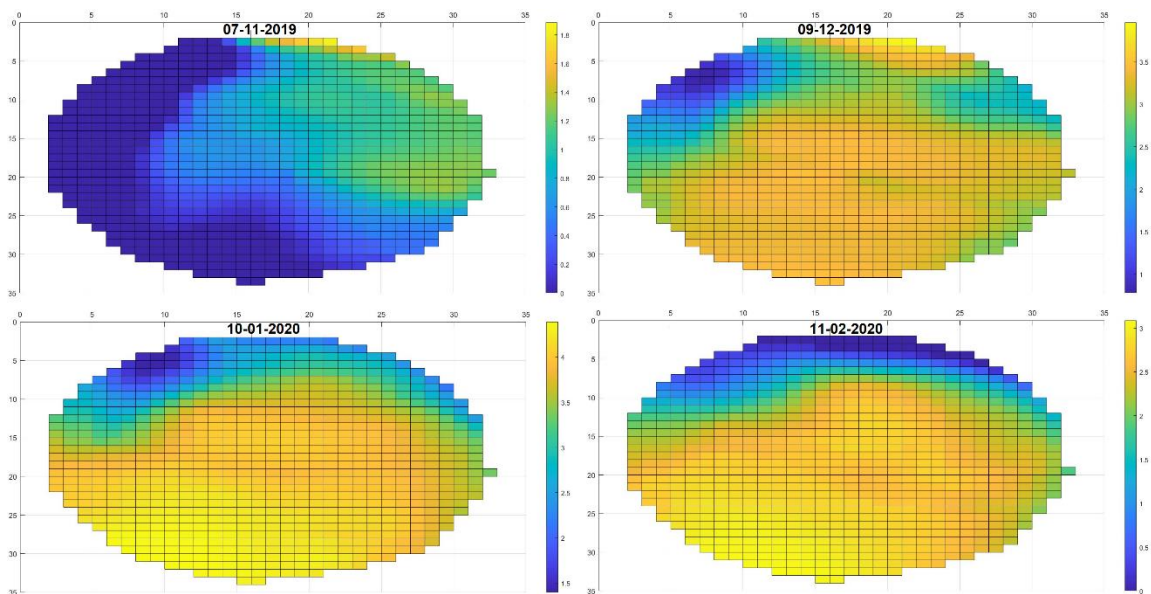


Figura 96. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "5", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

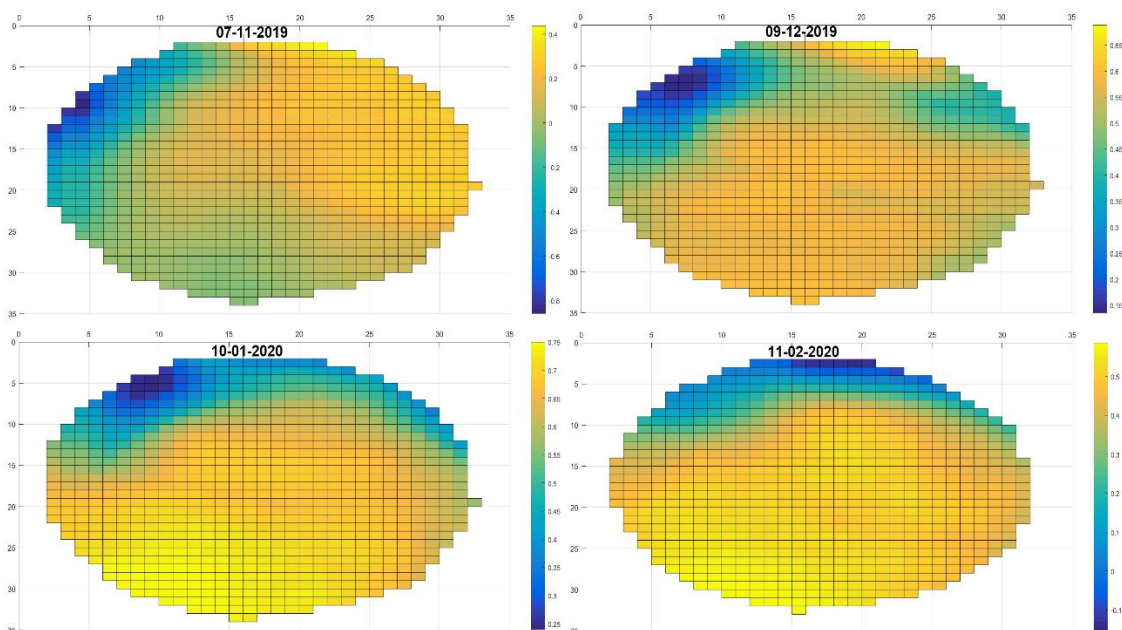


Figura 97. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "5", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

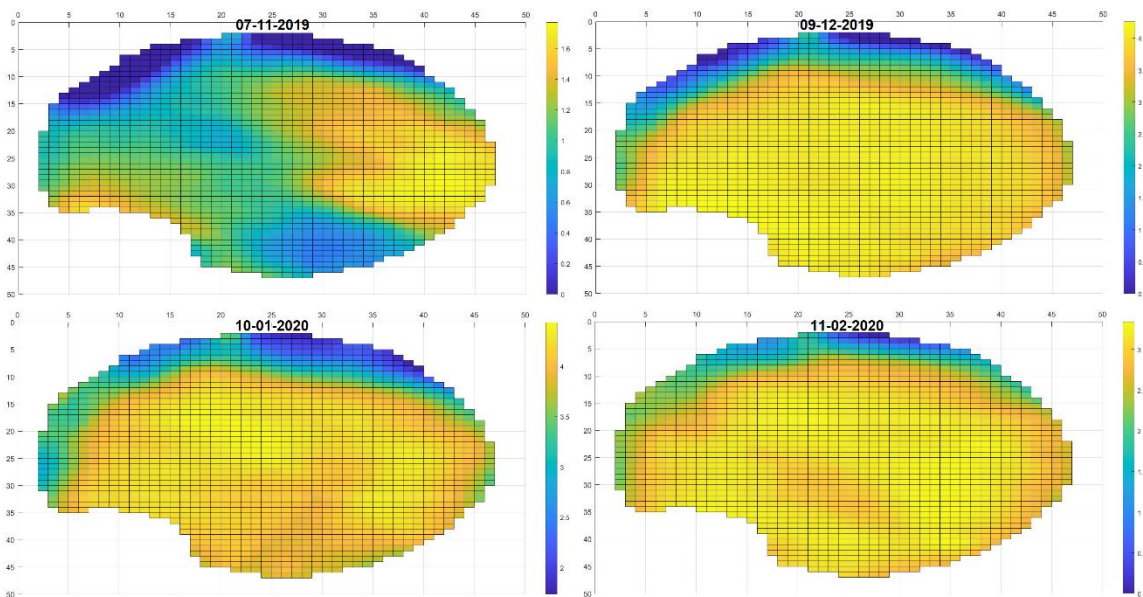


Figura 98. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "6", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

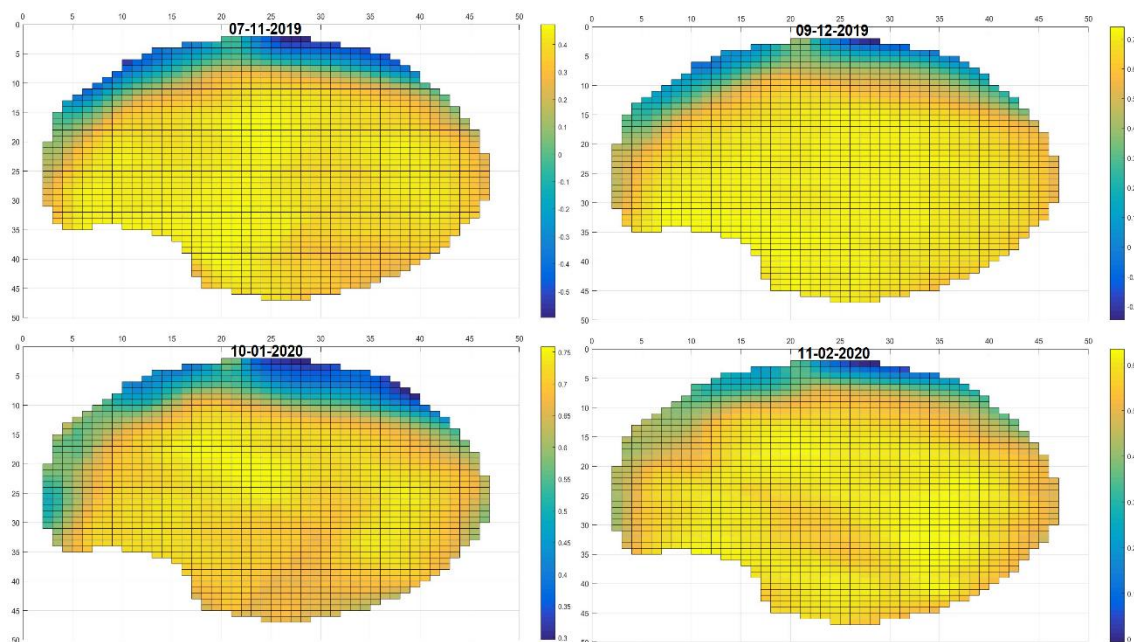


Figura 99. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "6", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

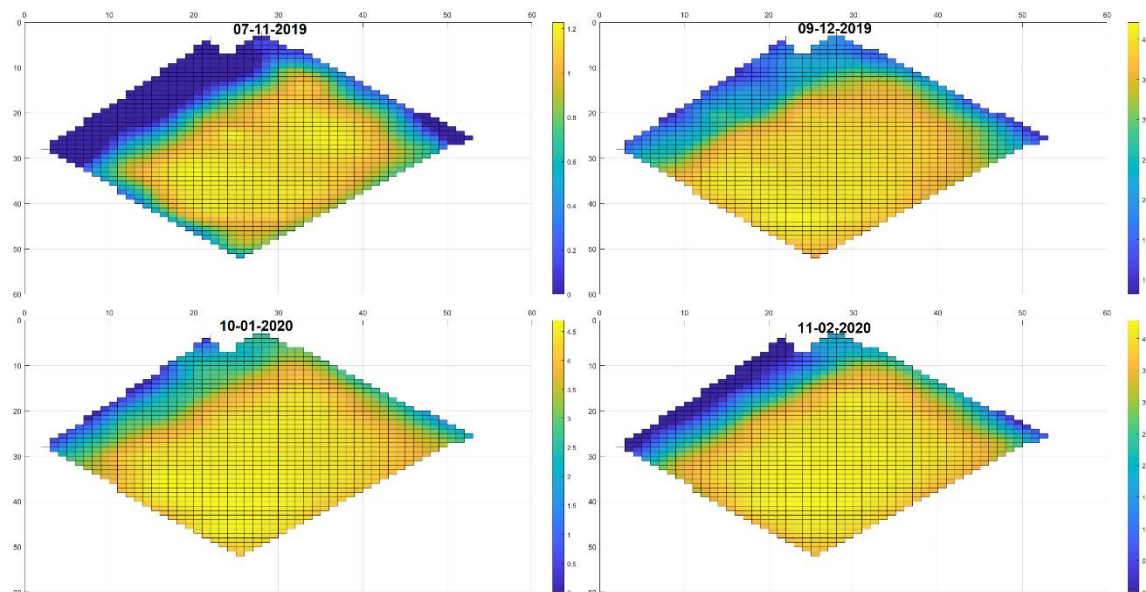


Figura 100. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "7", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

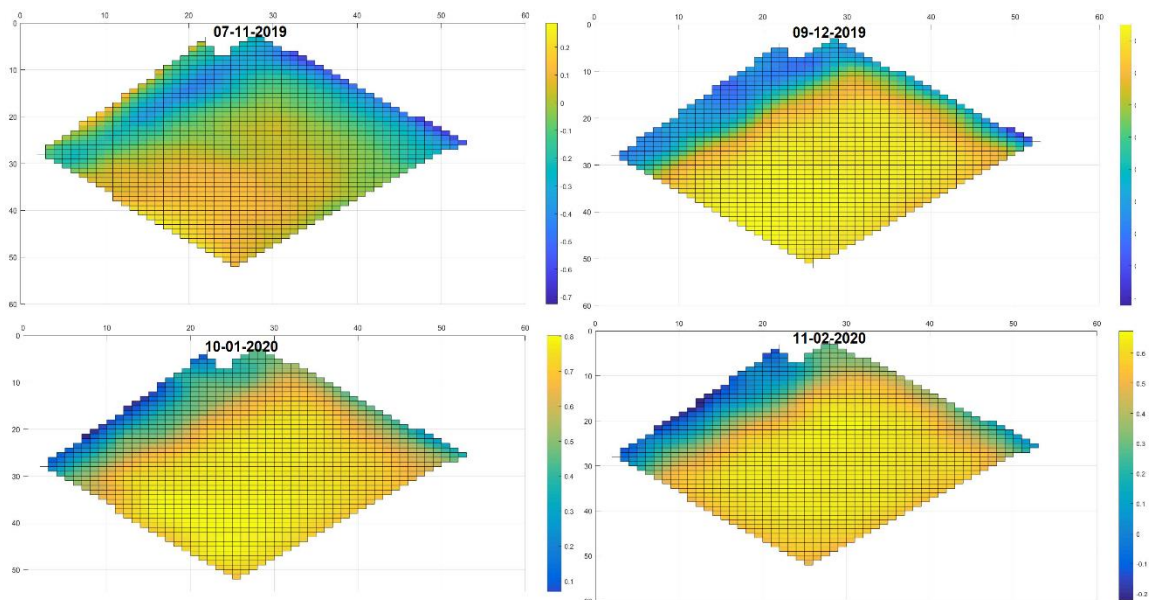


Figura 101. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "7", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

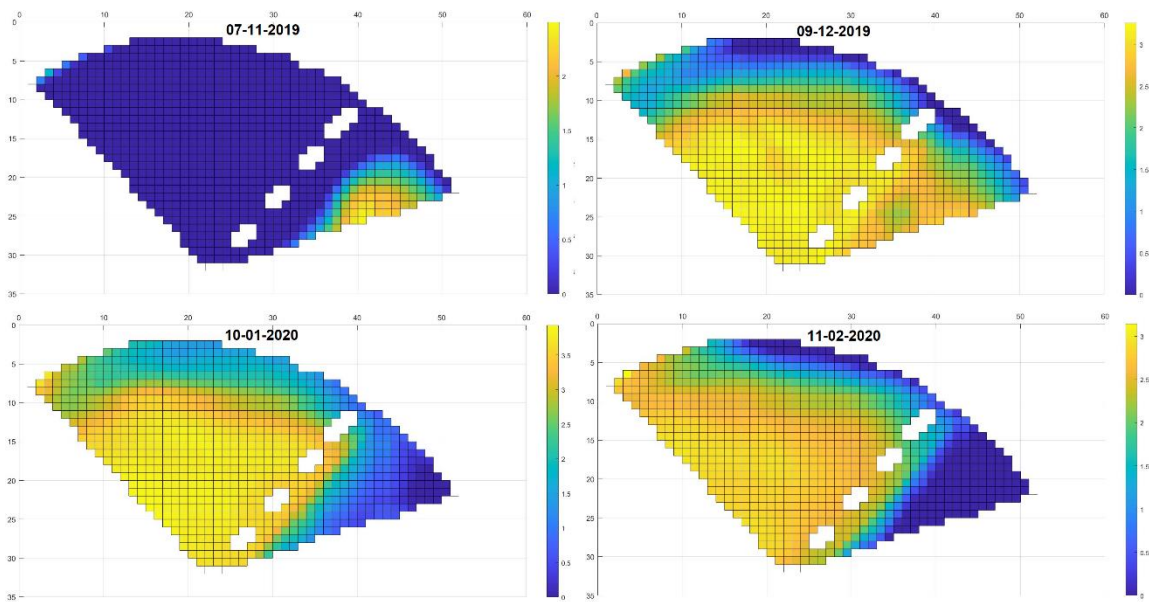


Figura 102. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "8", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

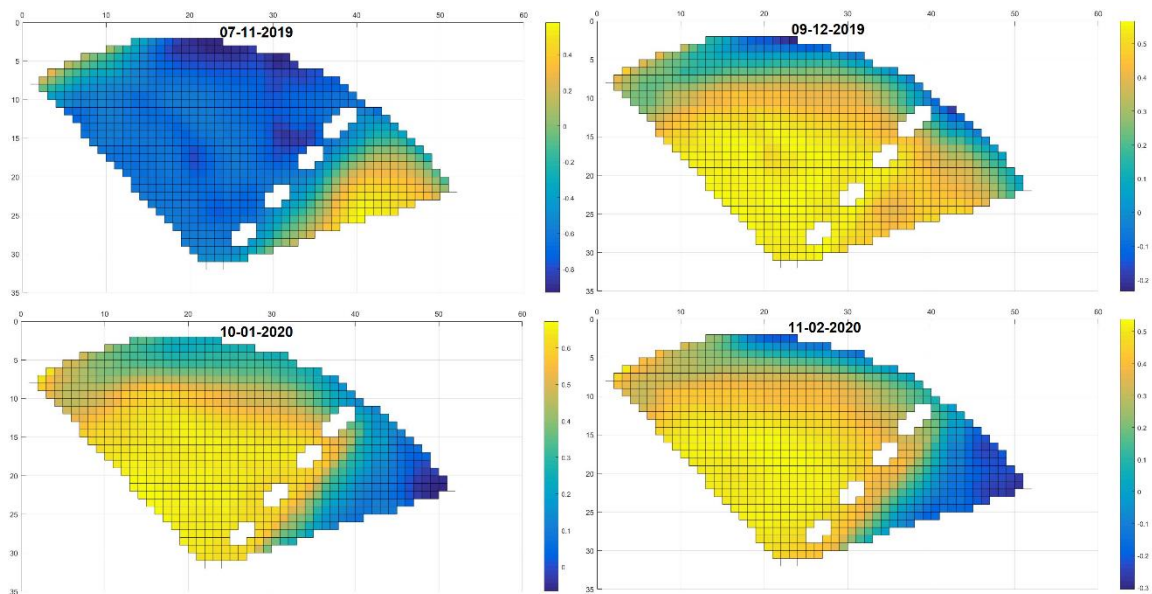


Figura 103. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote “8” obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

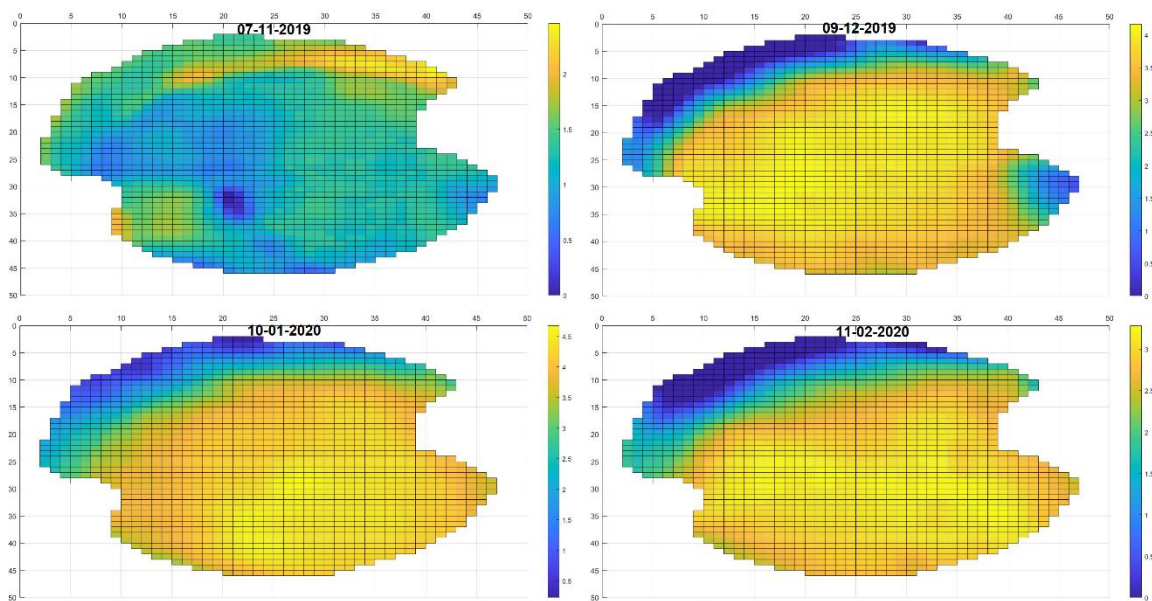


Figura 104. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote “9”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

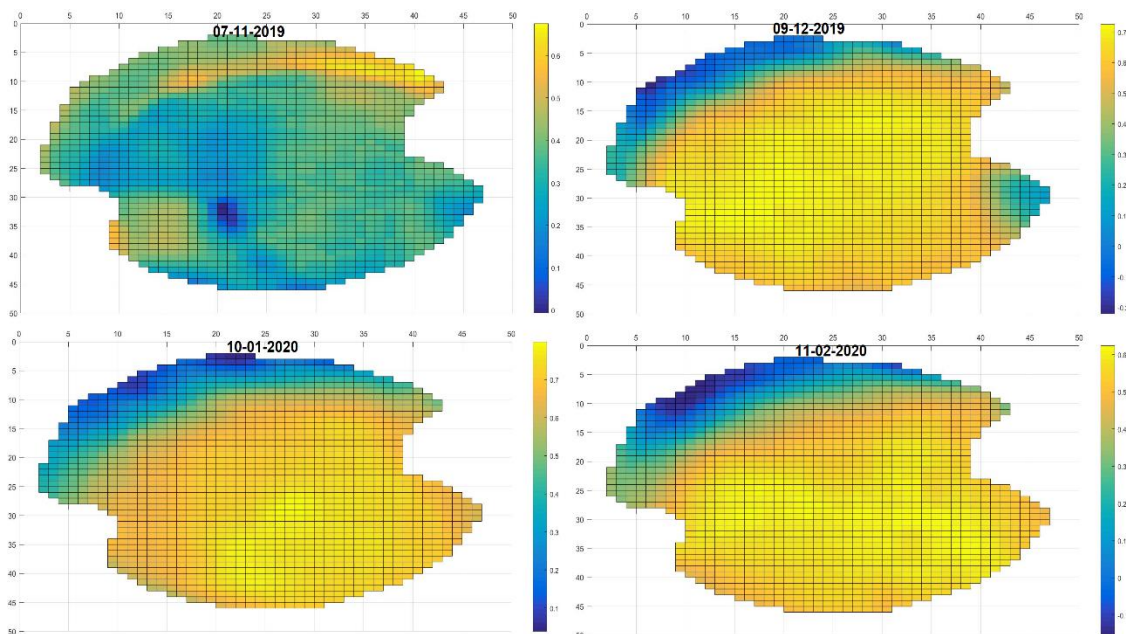


Figura 105. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote “9”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

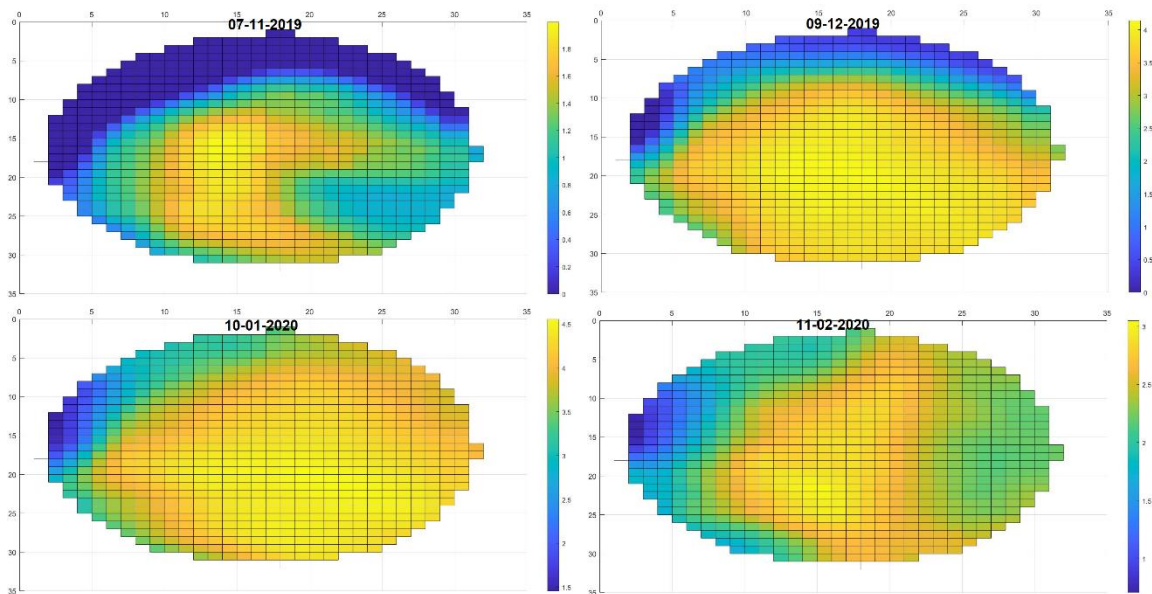


Figura 106. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote “10”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

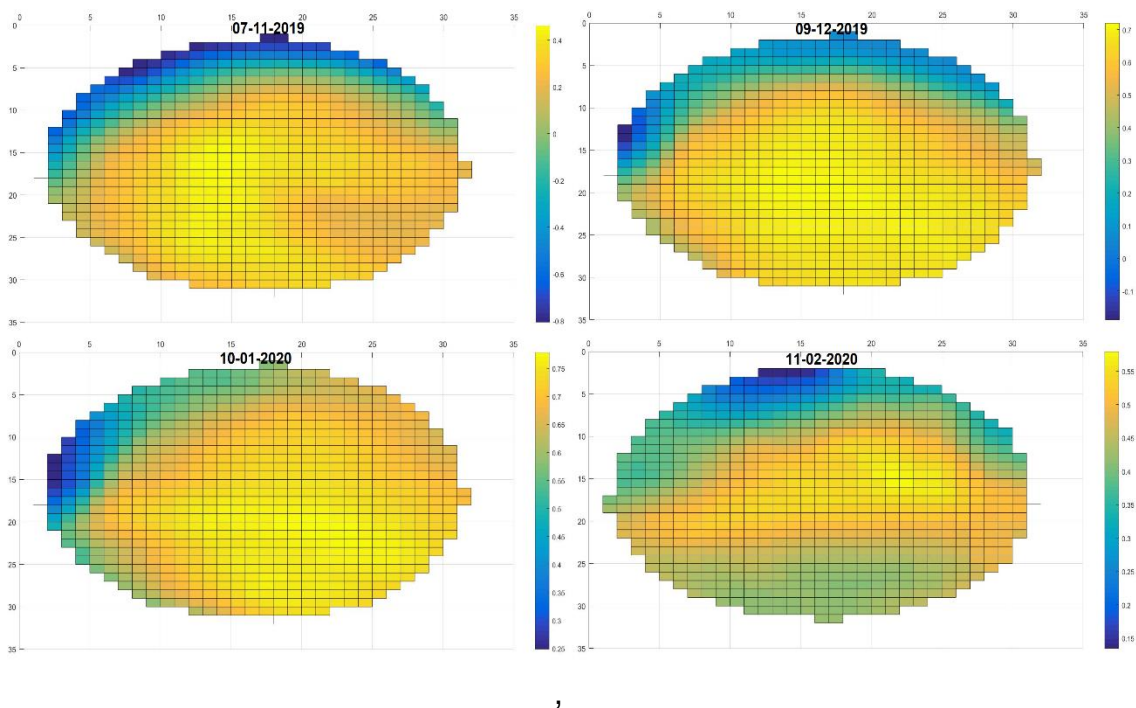


Figura 107. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "10", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

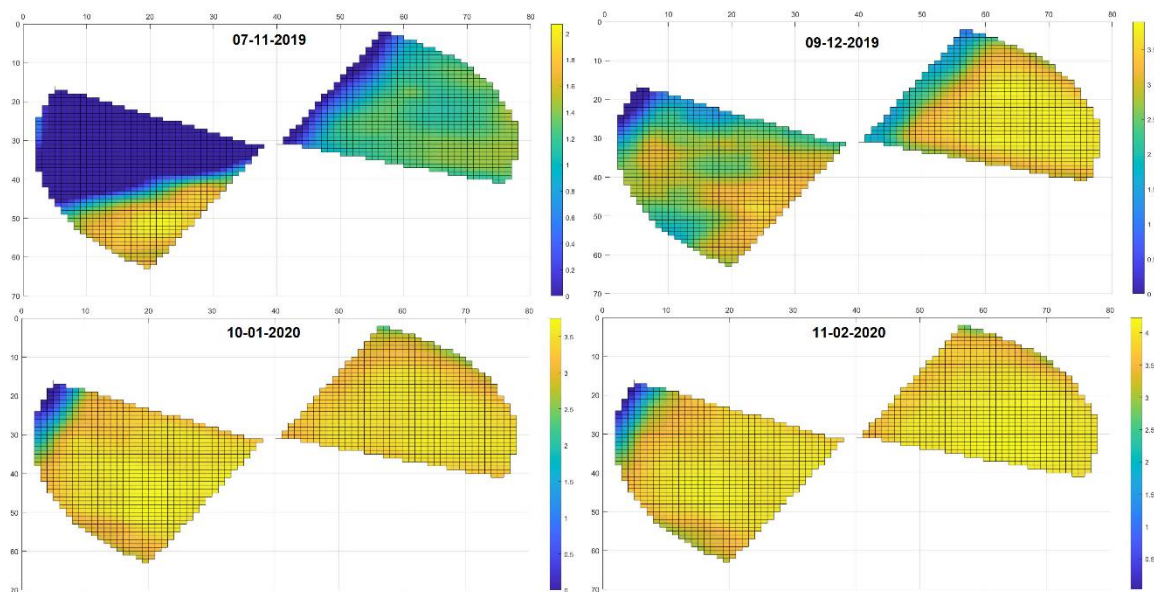


Figura 108. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "11", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

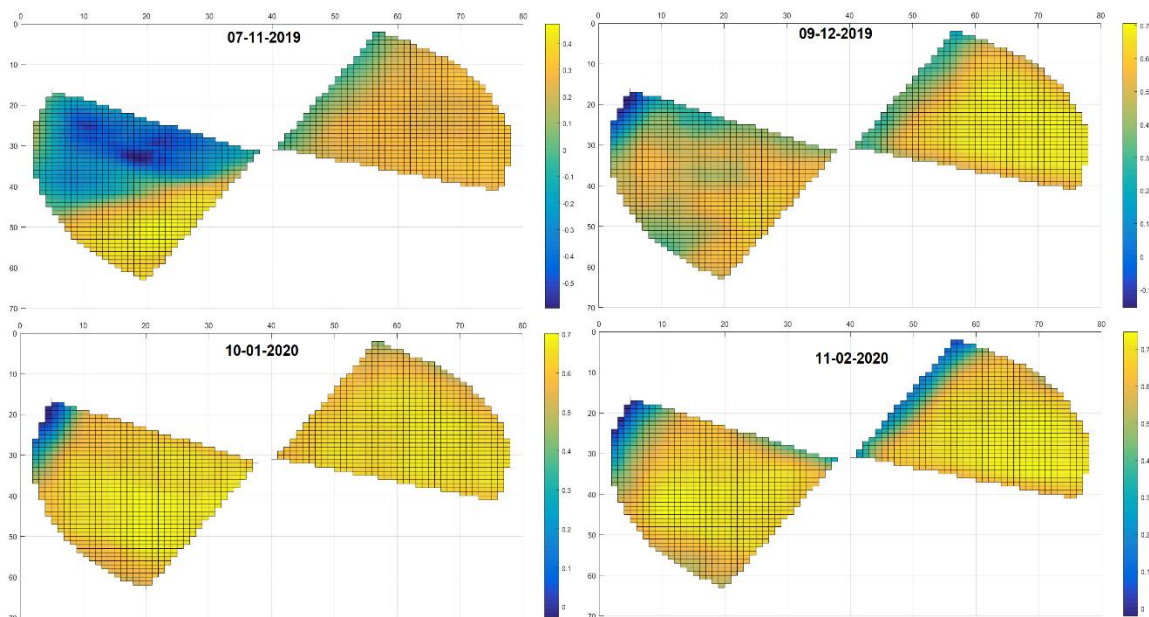


Figura 109. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "11", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

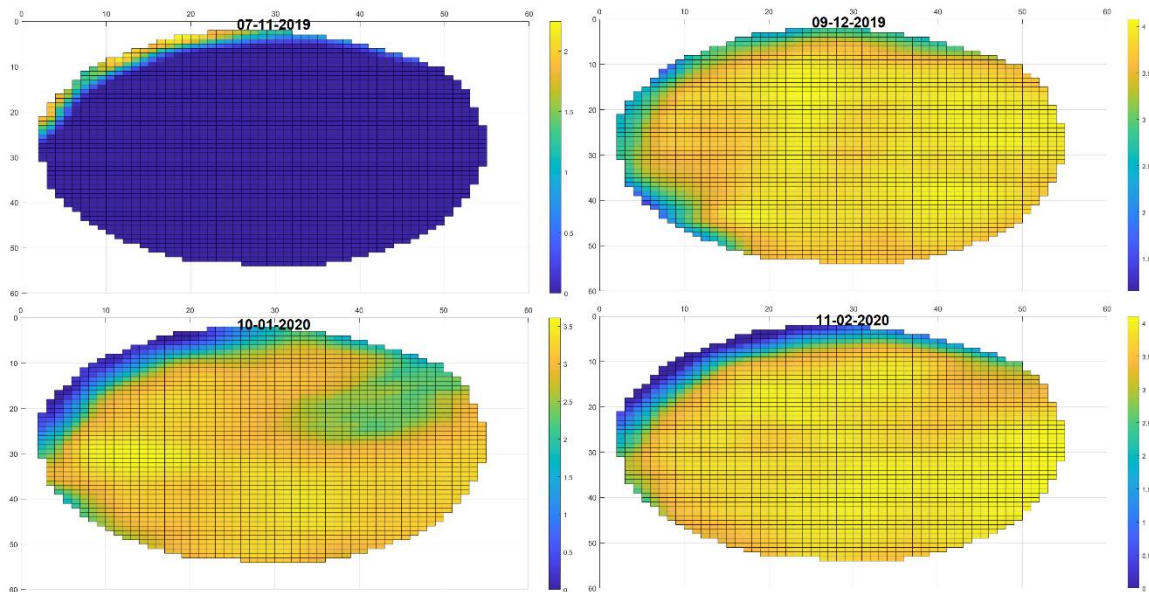


Figura 110. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "12", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

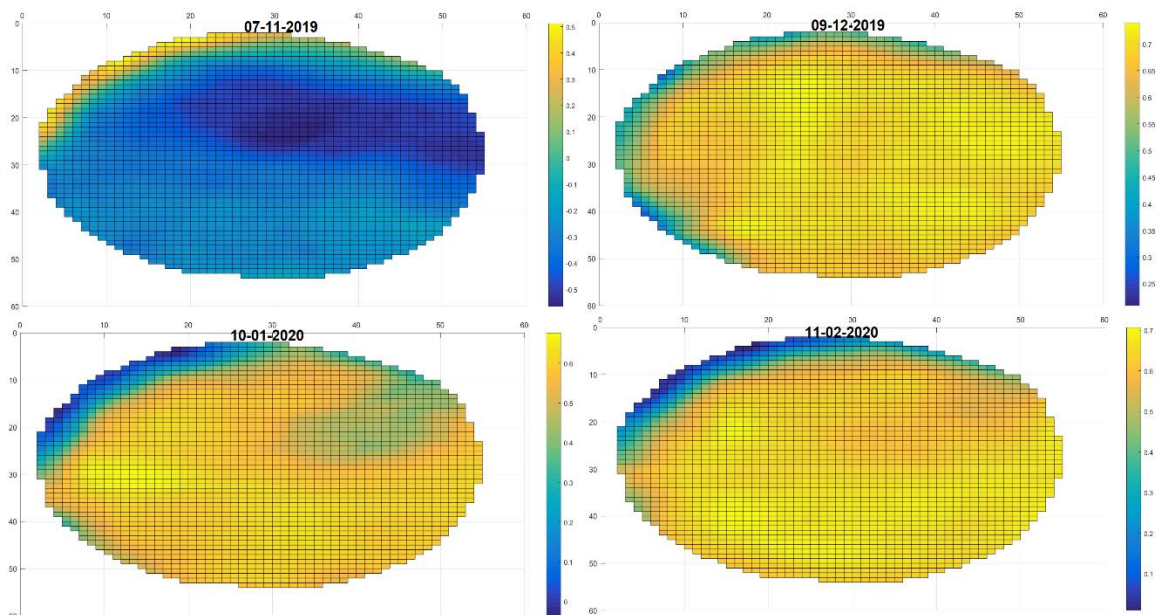


Figura 111. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "12", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

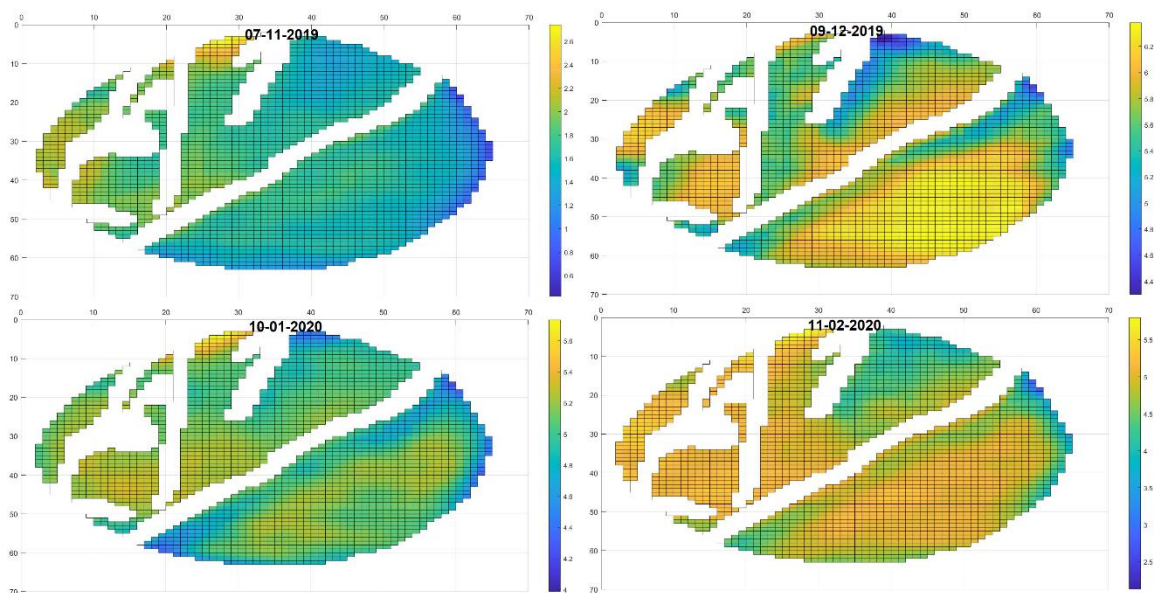


Figura 112. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "13", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

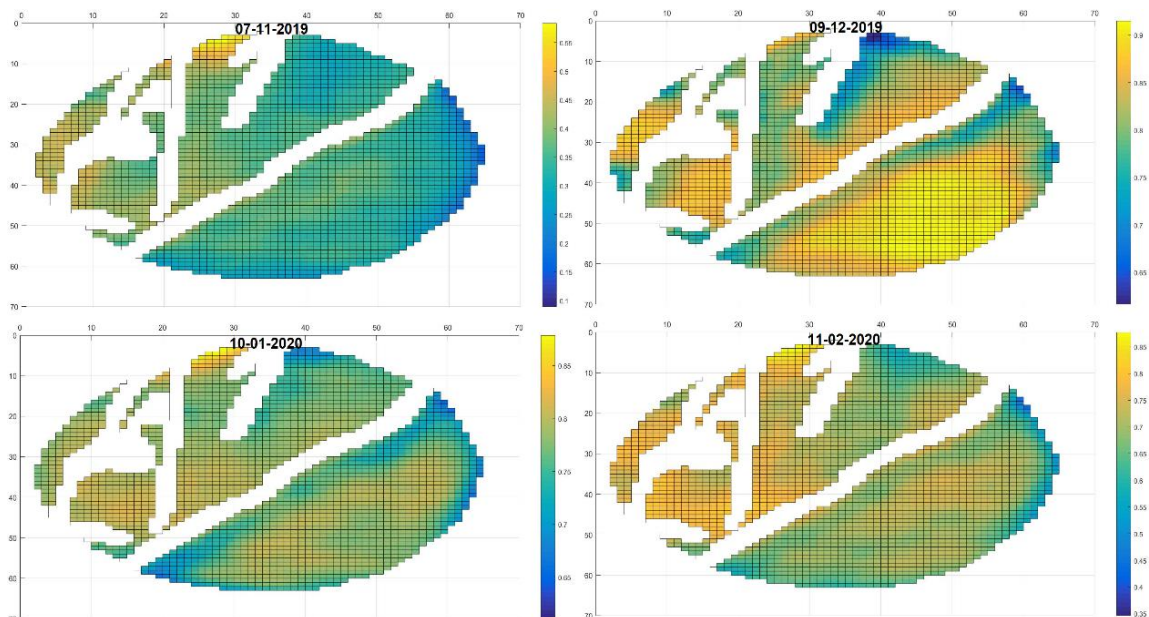


Figura 113. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "13", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

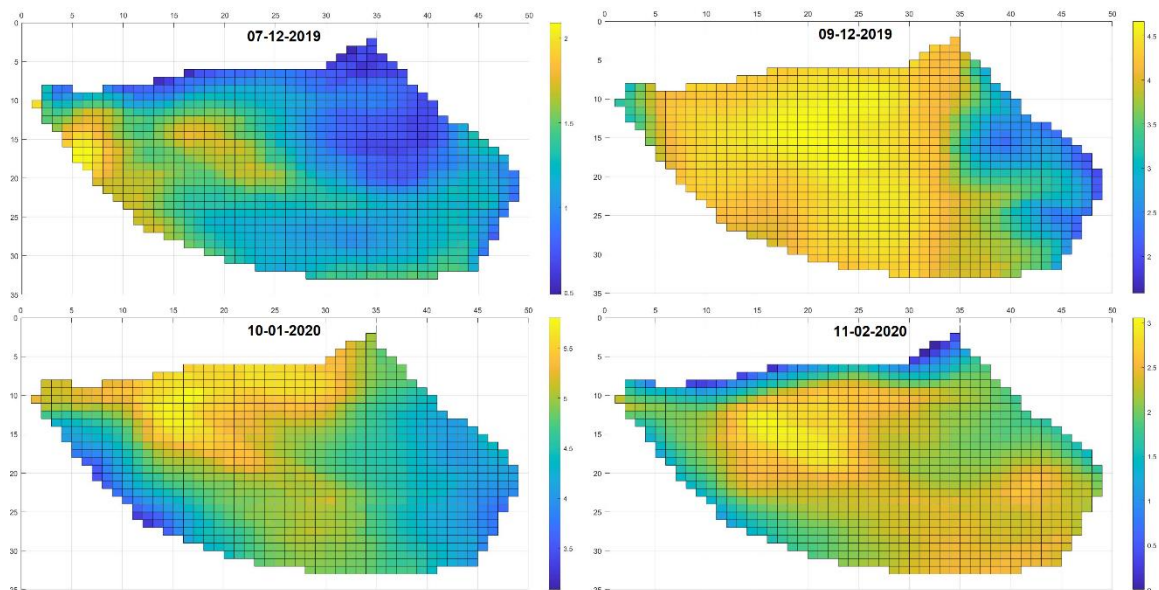


Figura 114. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "14", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

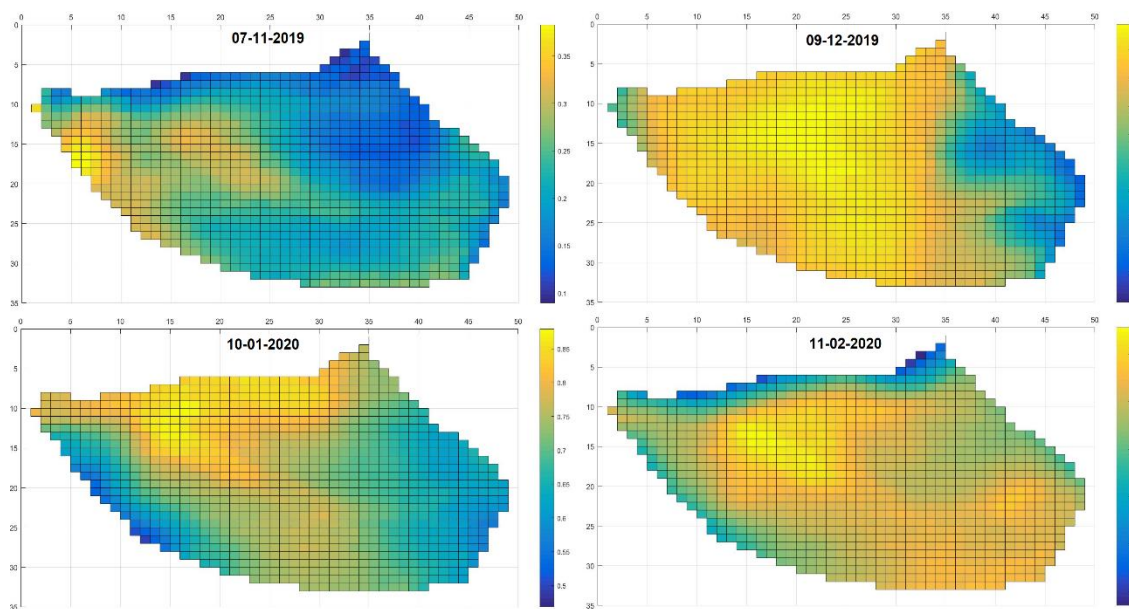


Figura 115. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "14", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

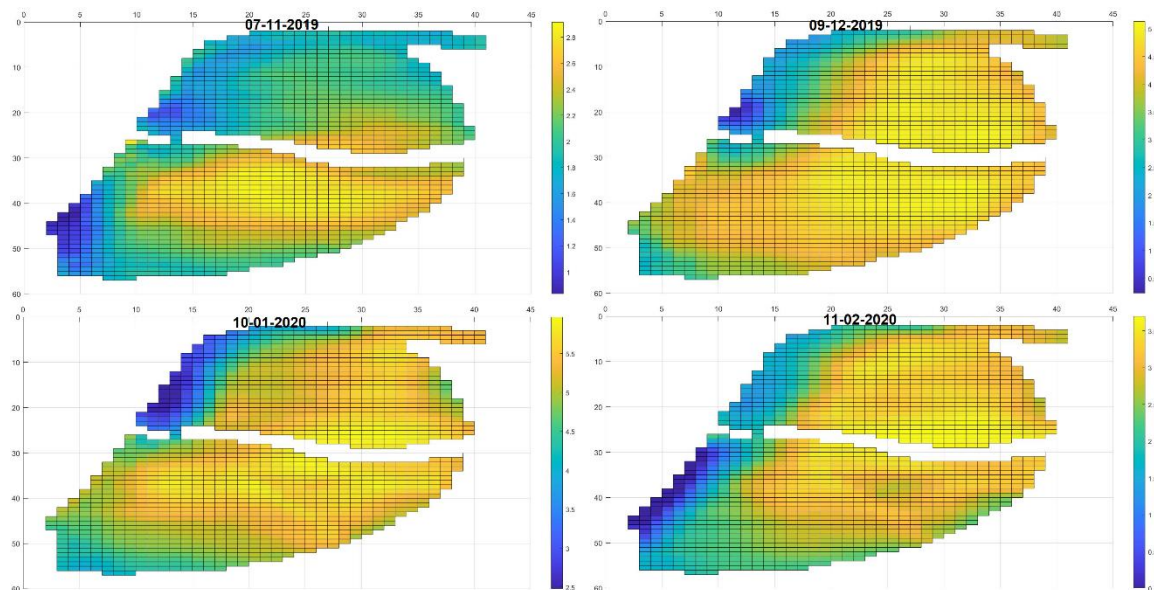


Figura 116. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "15", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

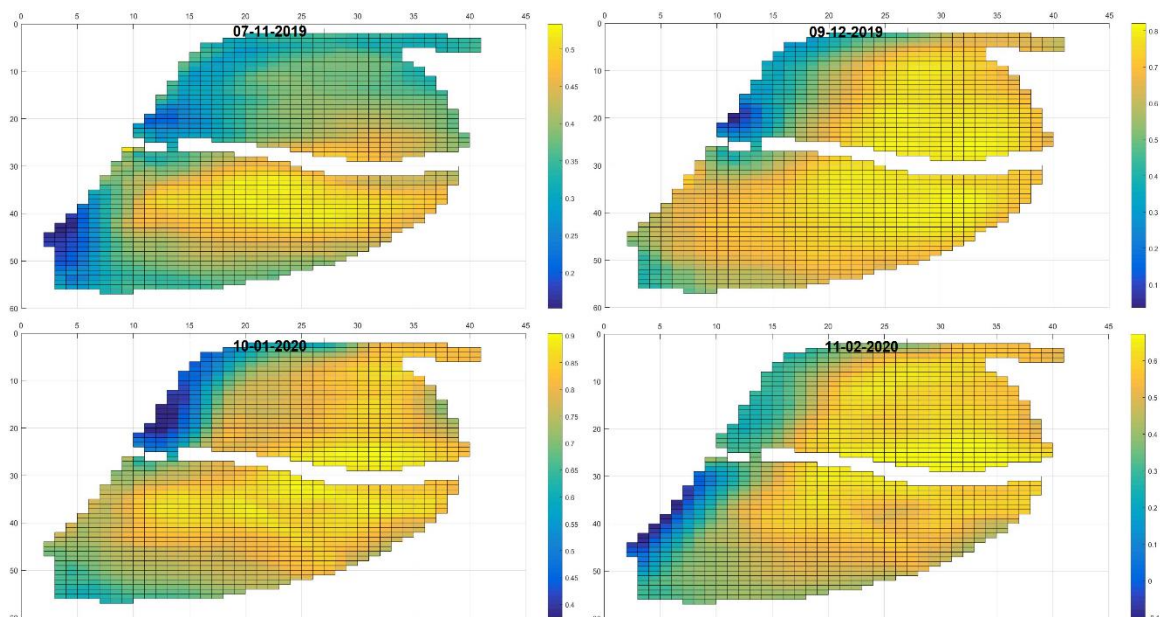


Figura 117. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "15", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

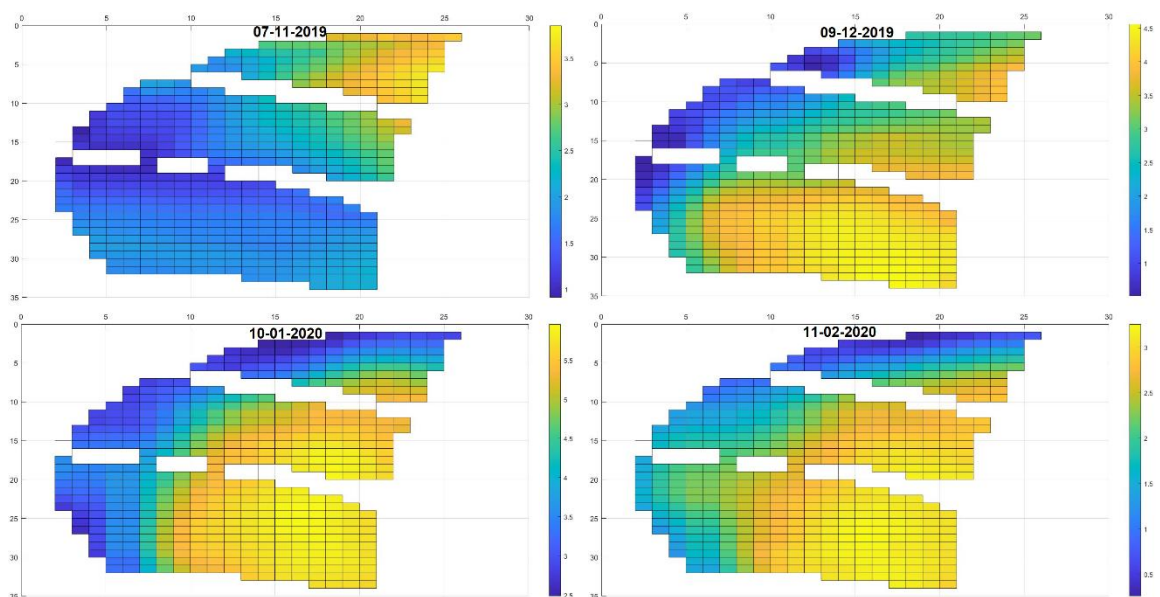


Figura 118. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "16", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

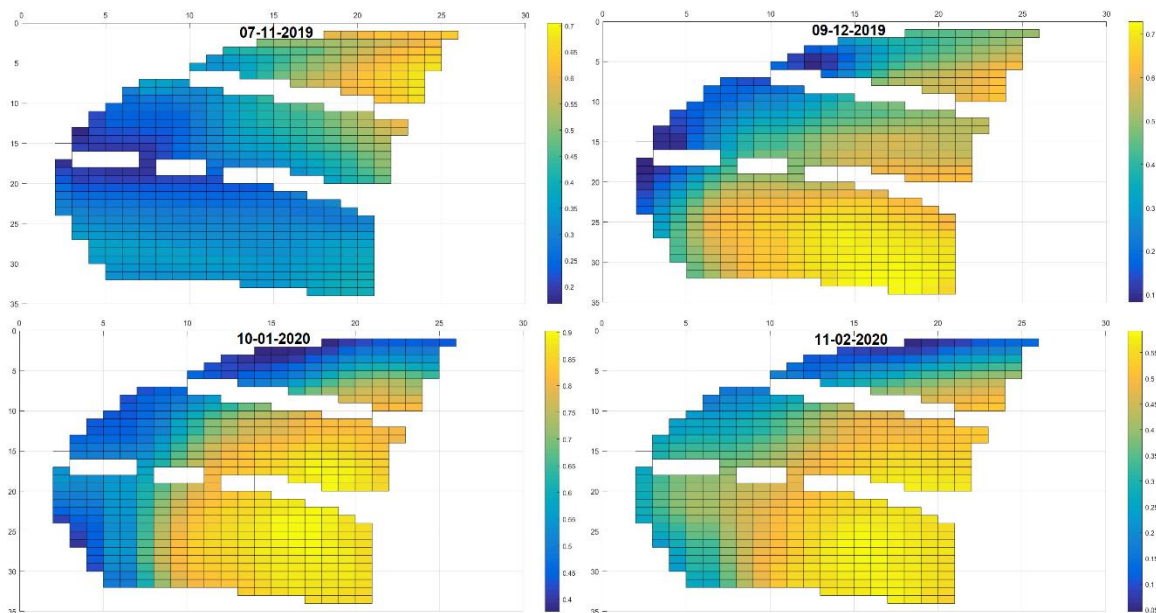


Figura 119. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "16", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

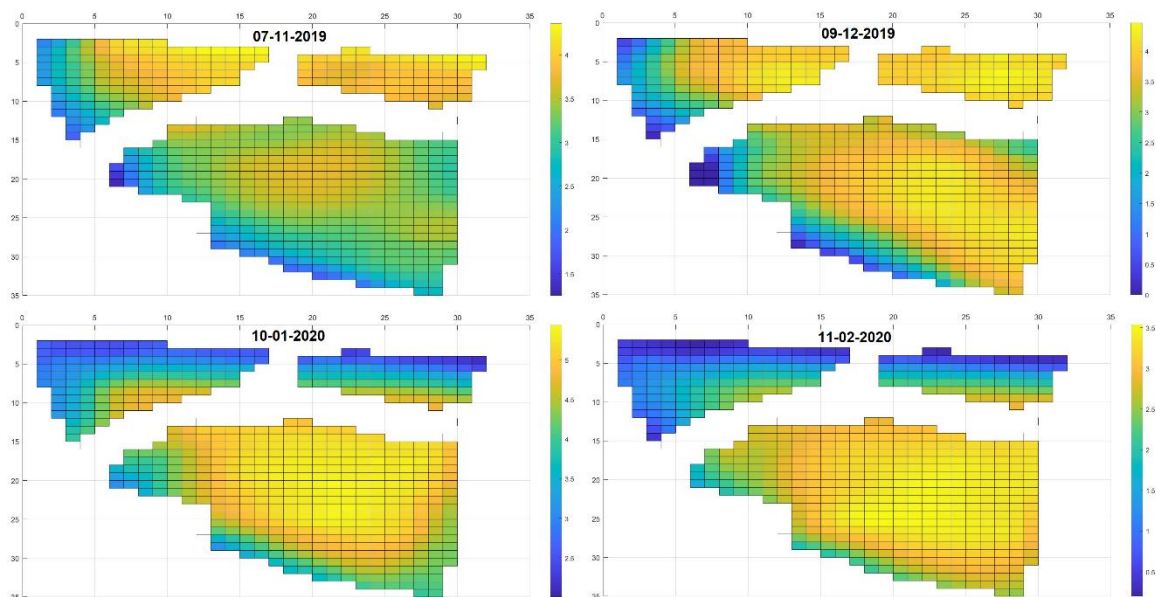


Figura 120. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "17", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

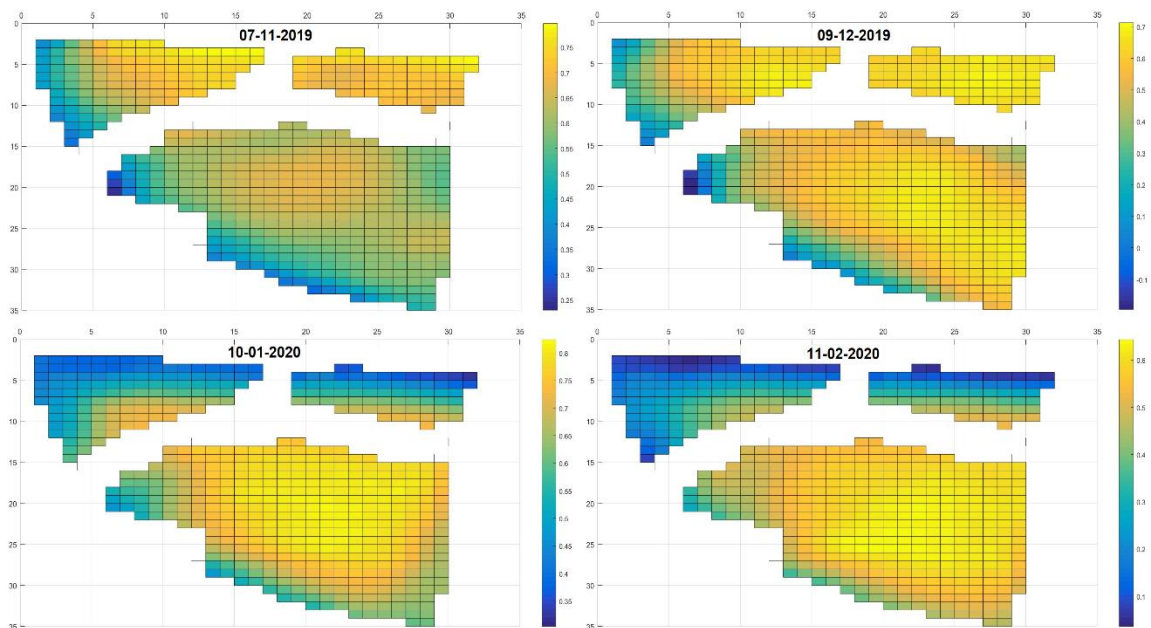


Figura 121. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "17", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

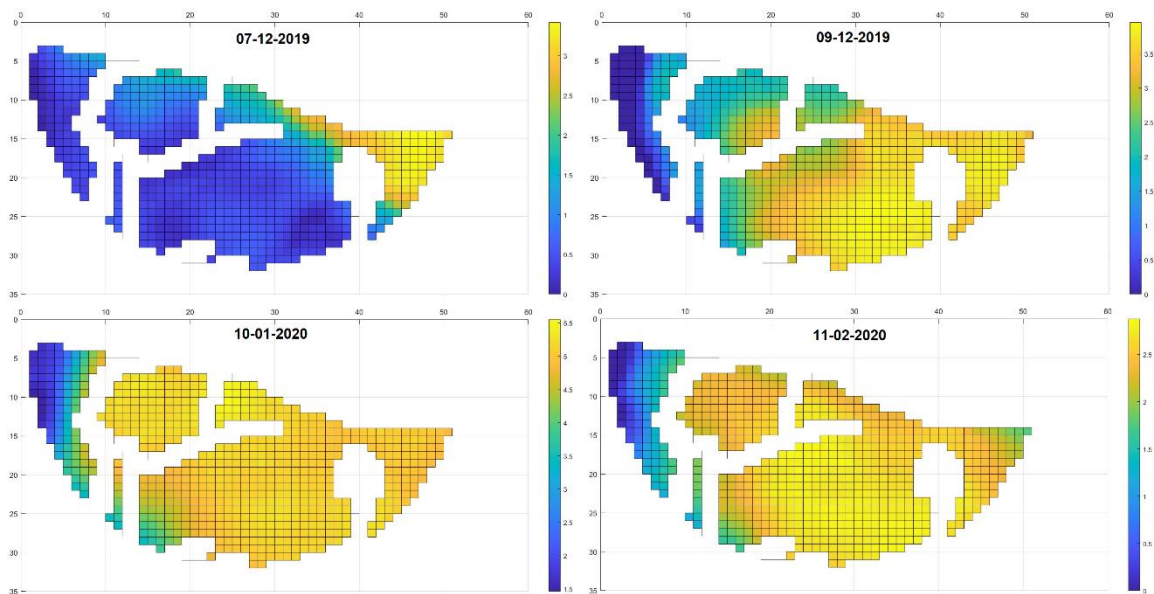


Figura 122. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "18", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

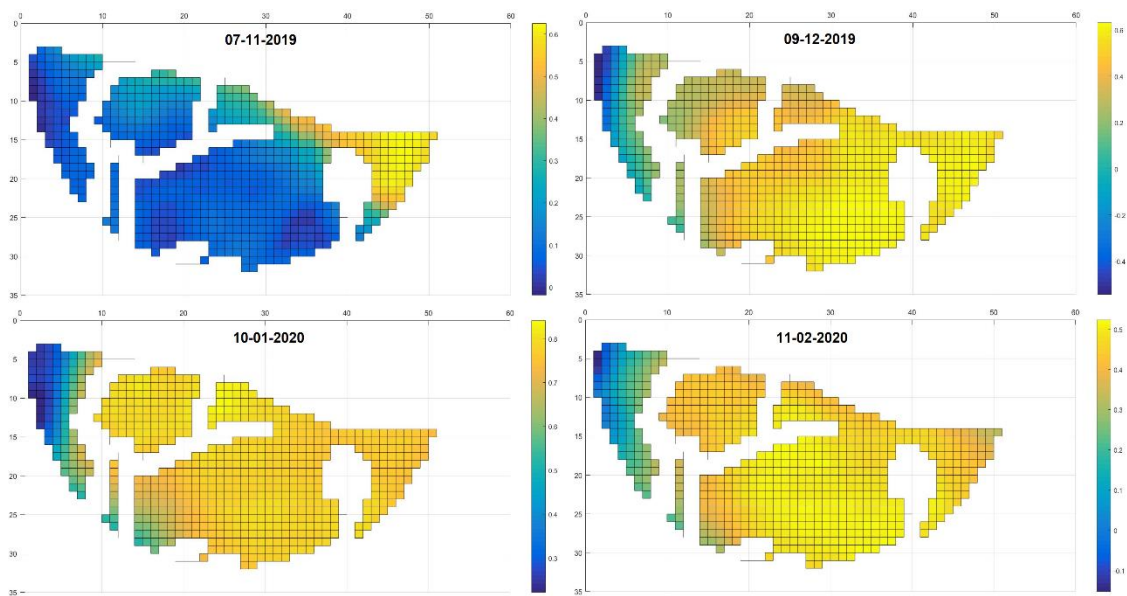


Figura 123. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "18", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

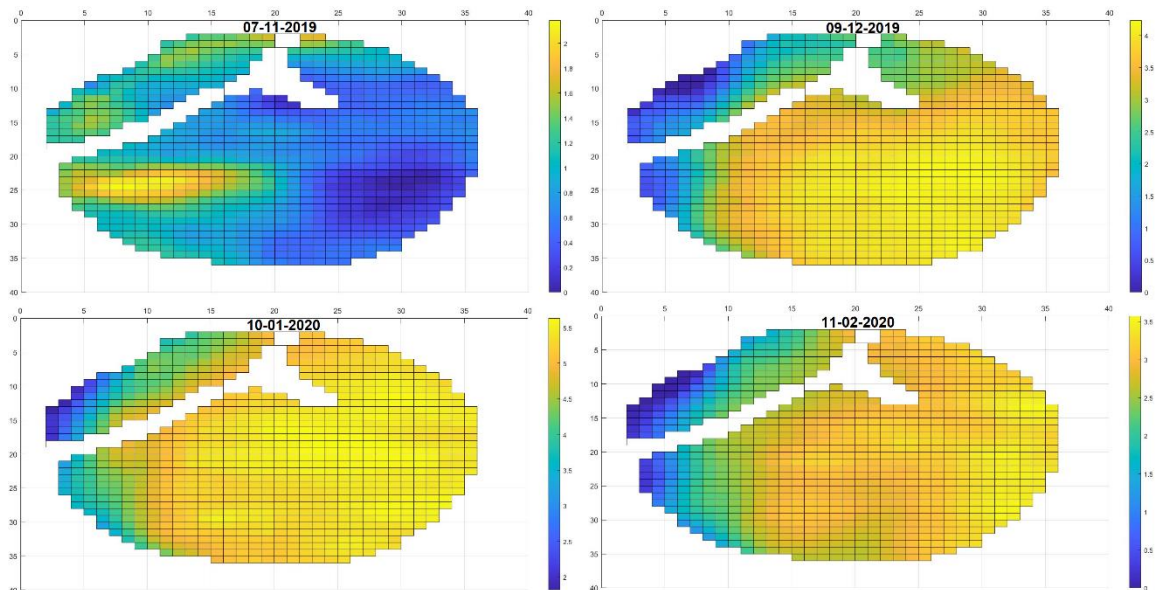


Figura 124. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) por píxeles en pivote "19", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

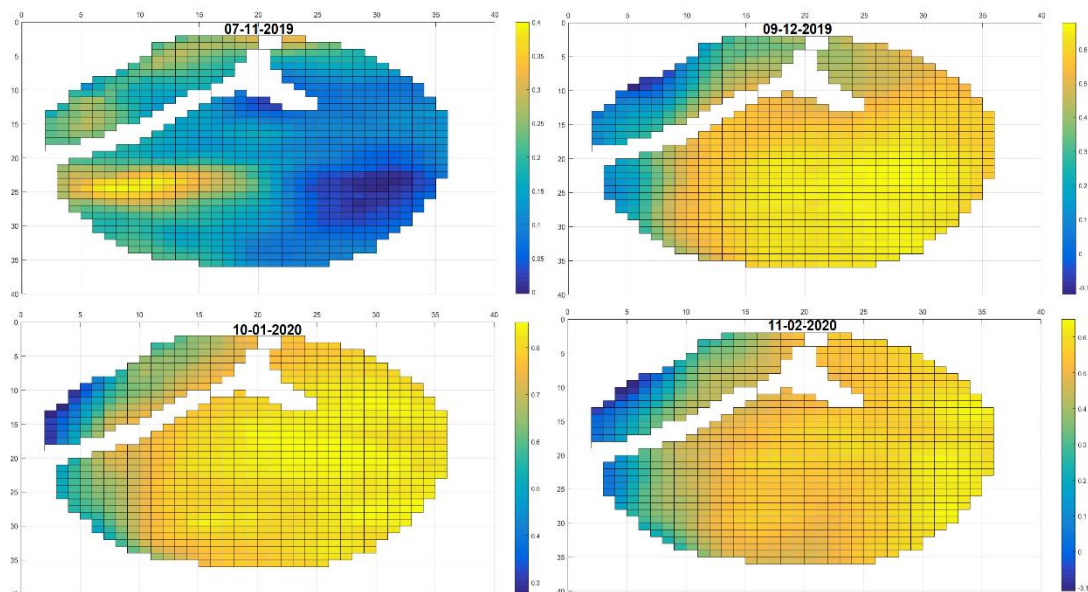


Figura 125. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) por píxeles en pivote "19", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

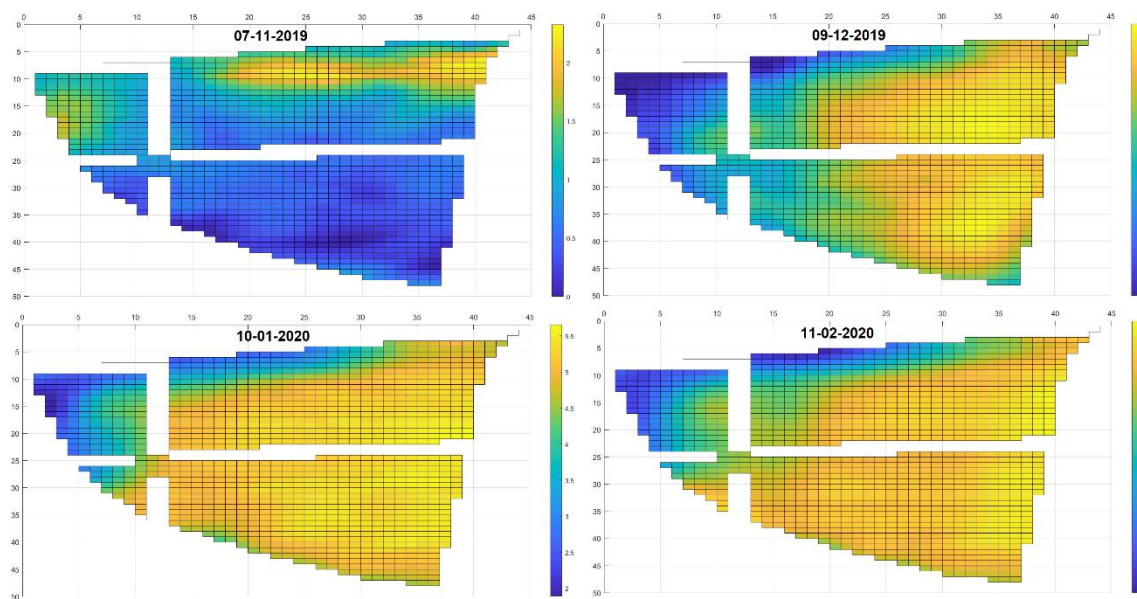


Figura 126. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) por píxeles en pivote “20”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

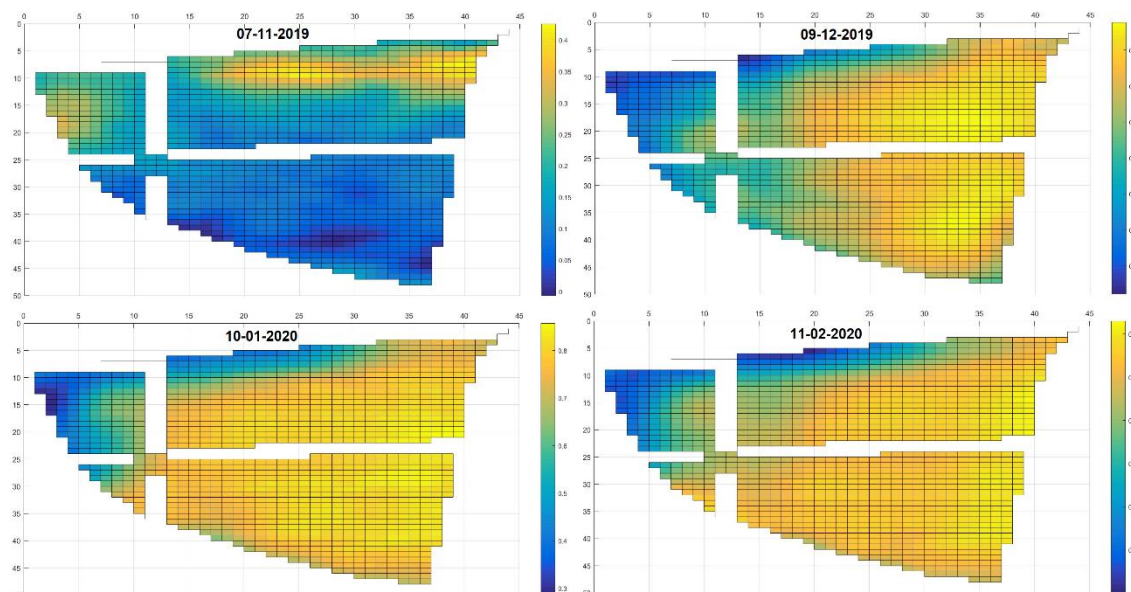


Figura 127. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) por píxeles en pivote “20”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

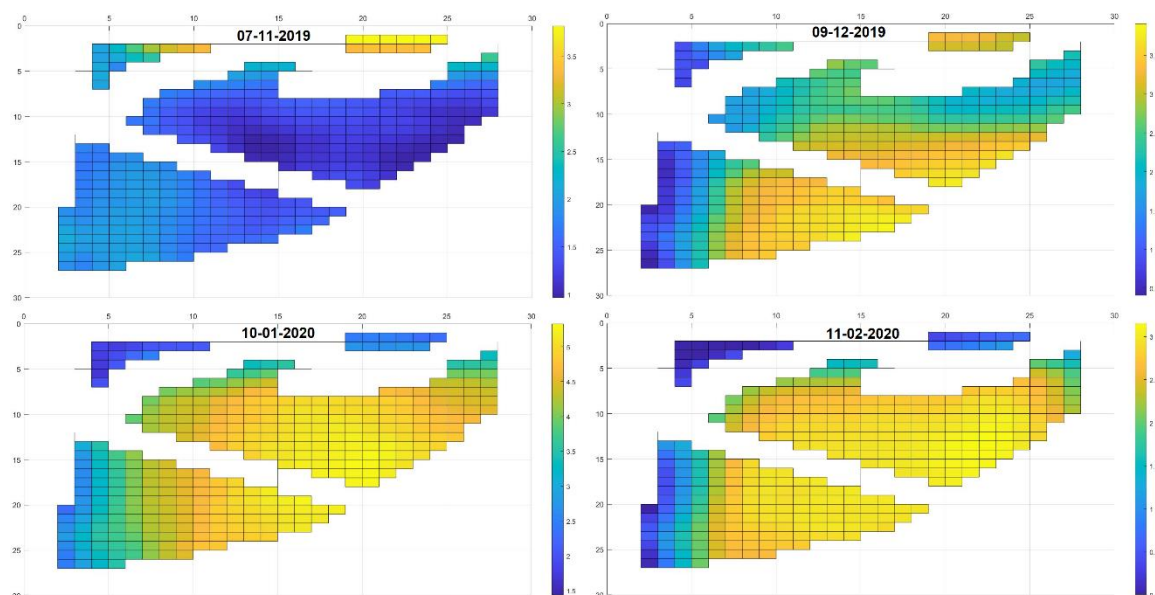


Figura 128. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) por píxeles en pivote “21”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

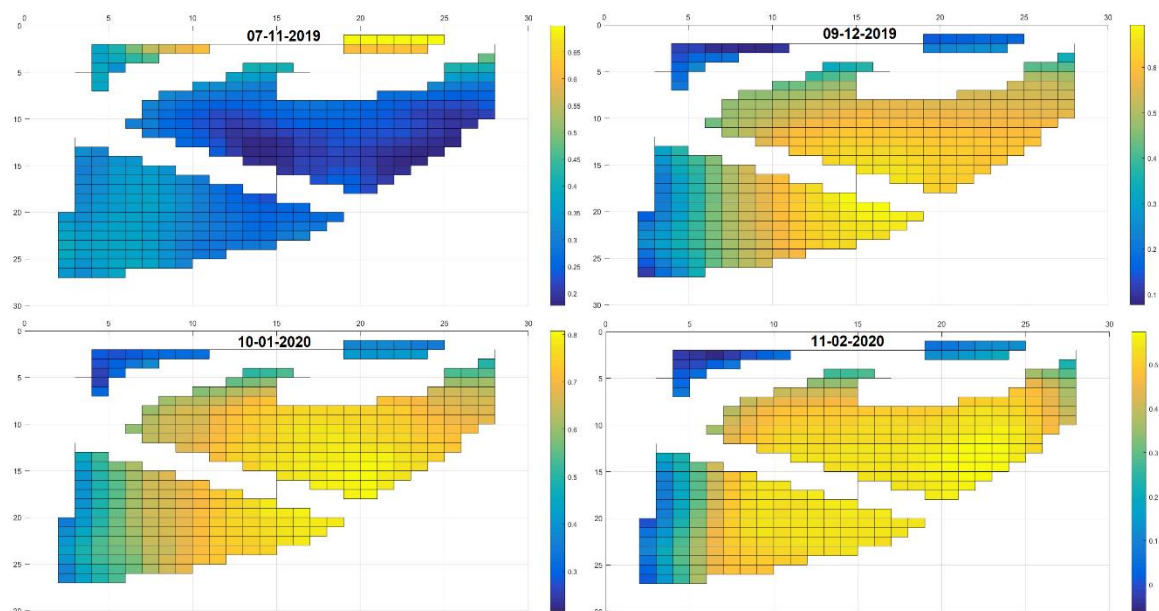


Figura 129. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) por píxeles en pivote “21”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

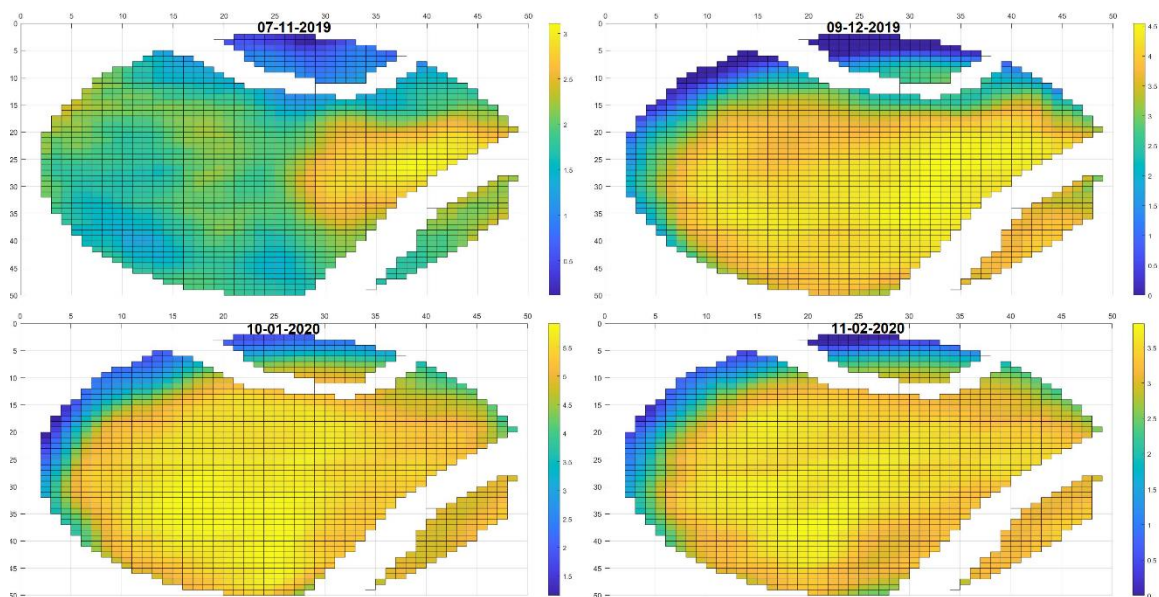


Figura 130. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) por píxeles en pivote "22", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

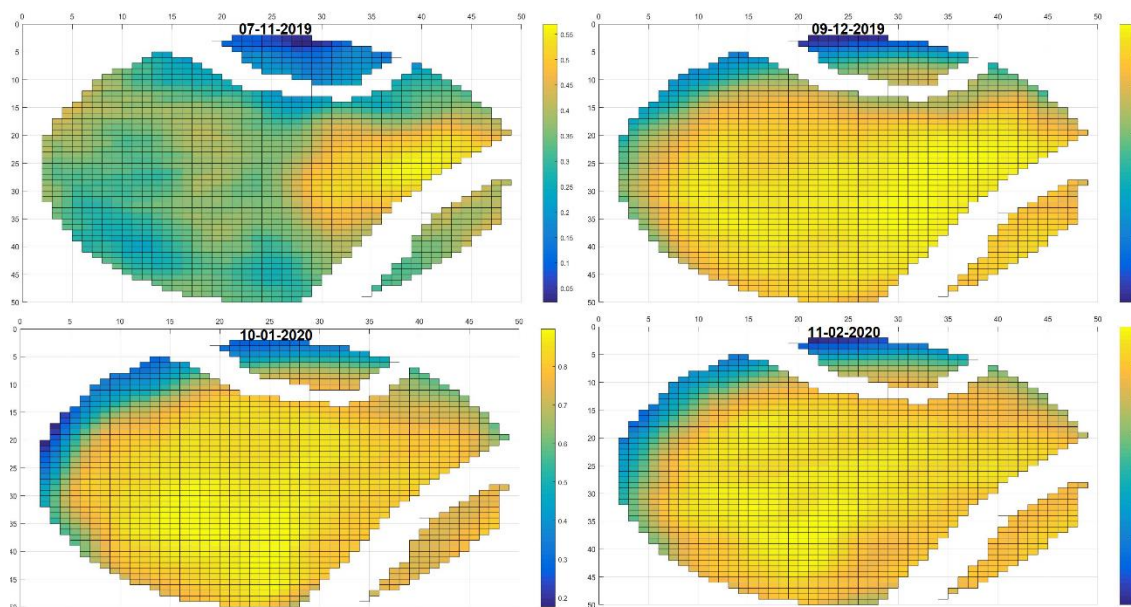


Figura 131. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) por píxeles en pivote "22", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

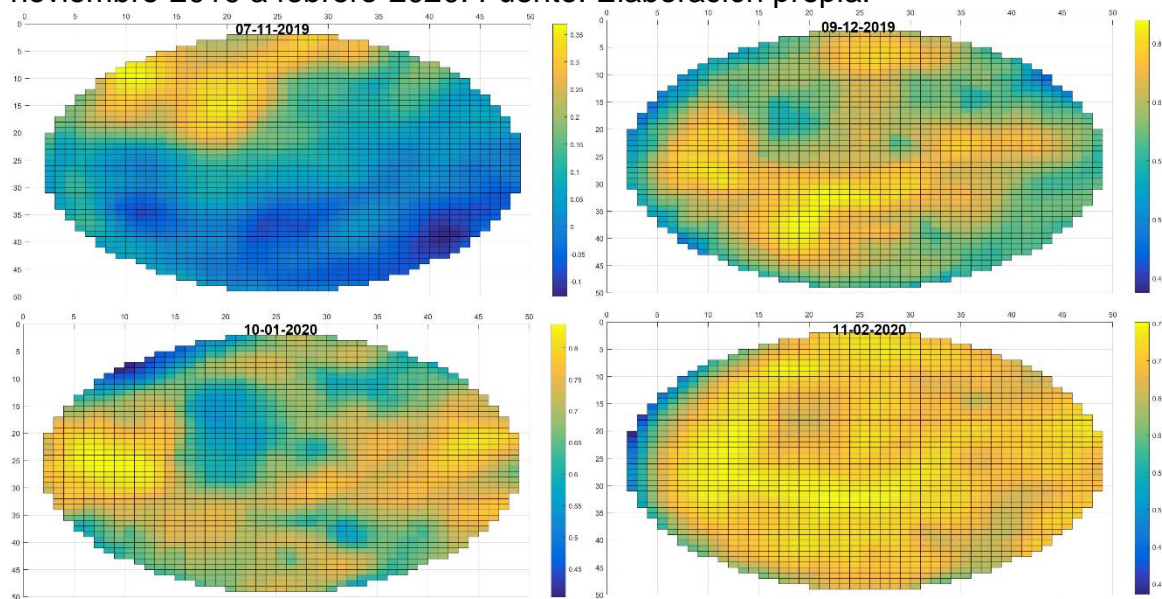


Figura 132. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) por píxeles en pivote "23", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

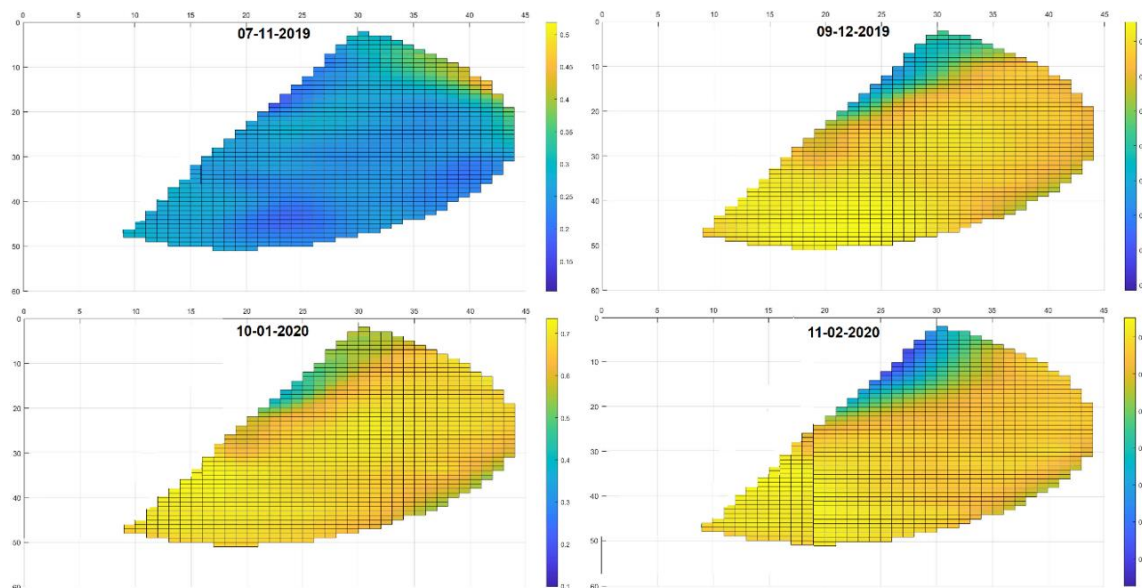


Figura 133. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "24", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

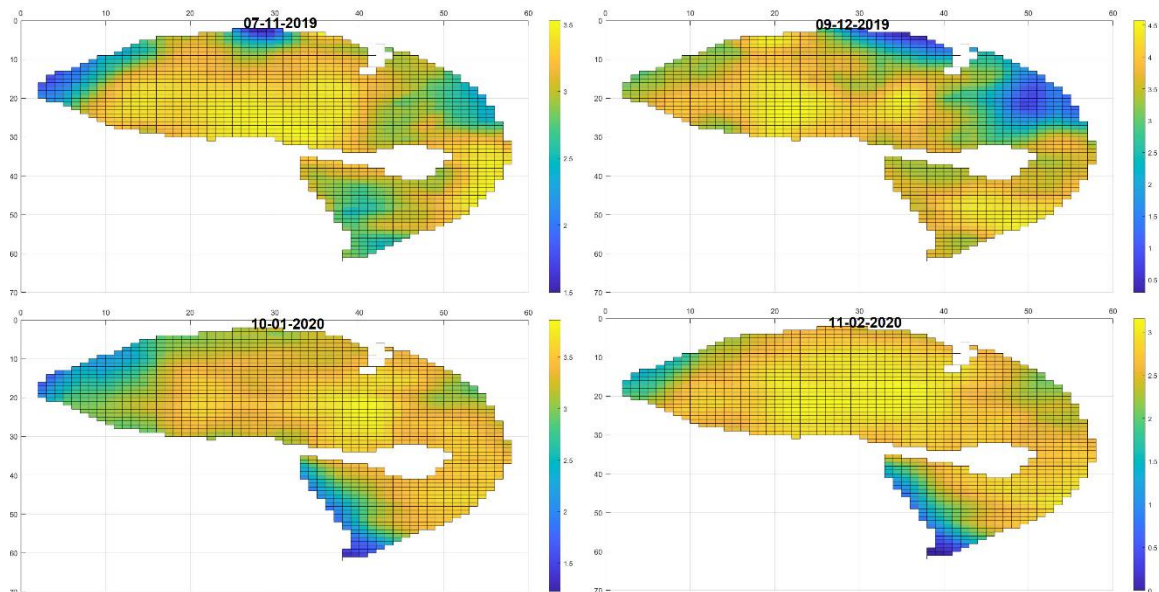


Figura 134. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "25", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

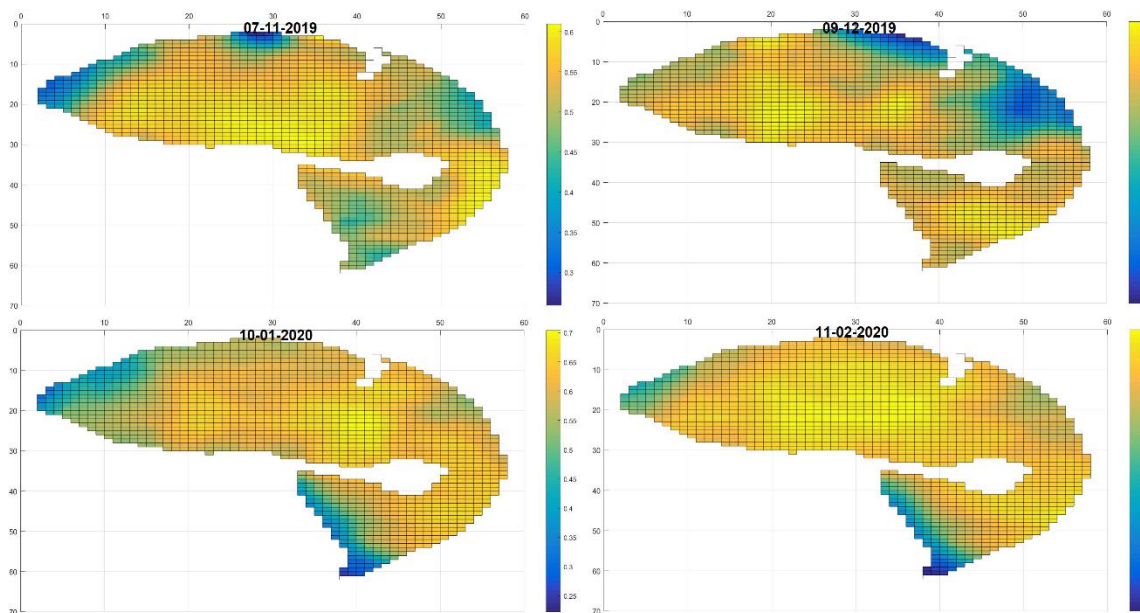


Figura 135. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote “25”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

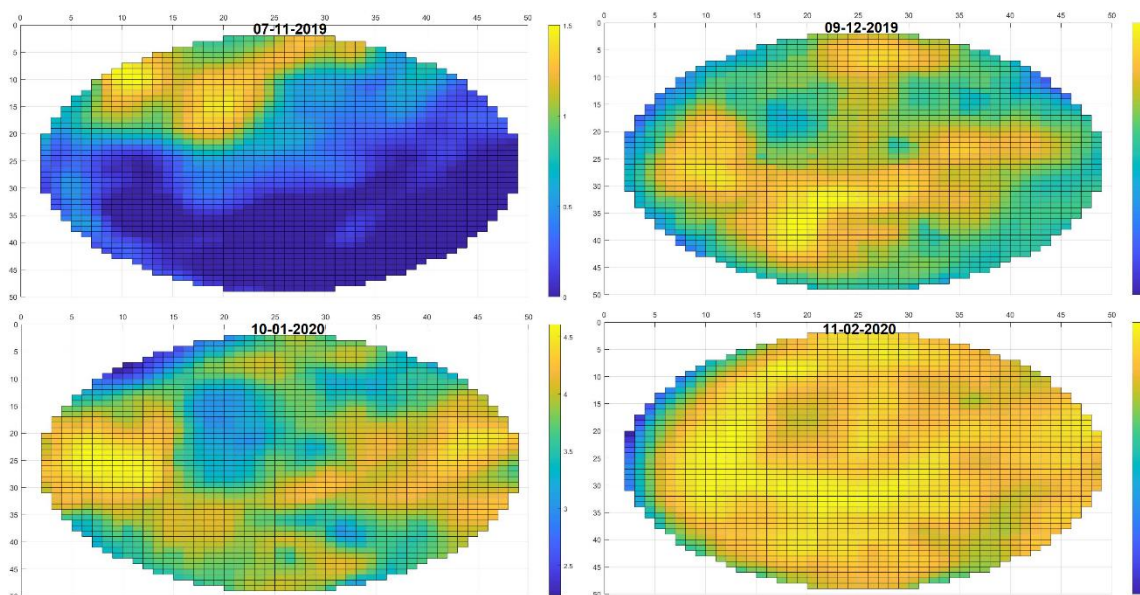


Figura 136. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote “26”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

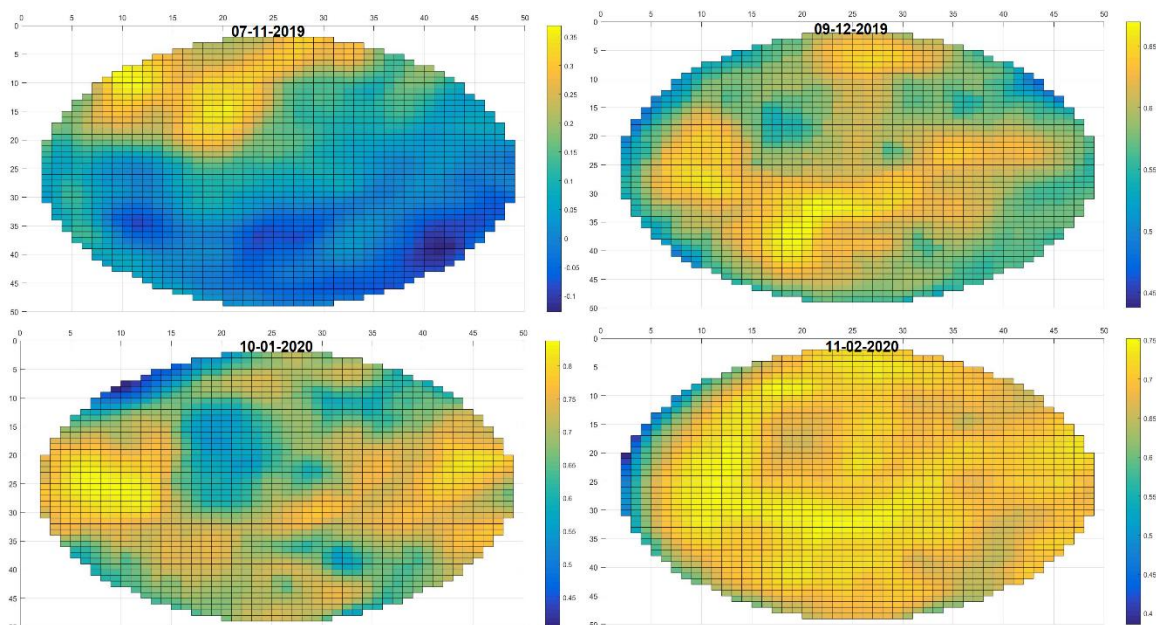


Figura 137. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "26", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

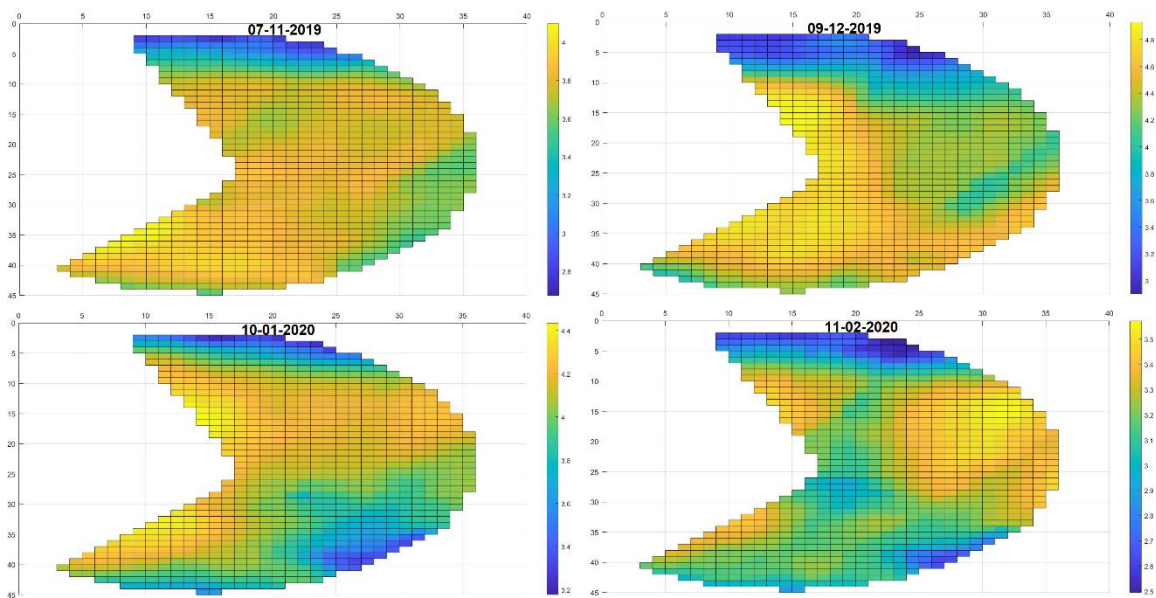


Figura 138. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "27", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

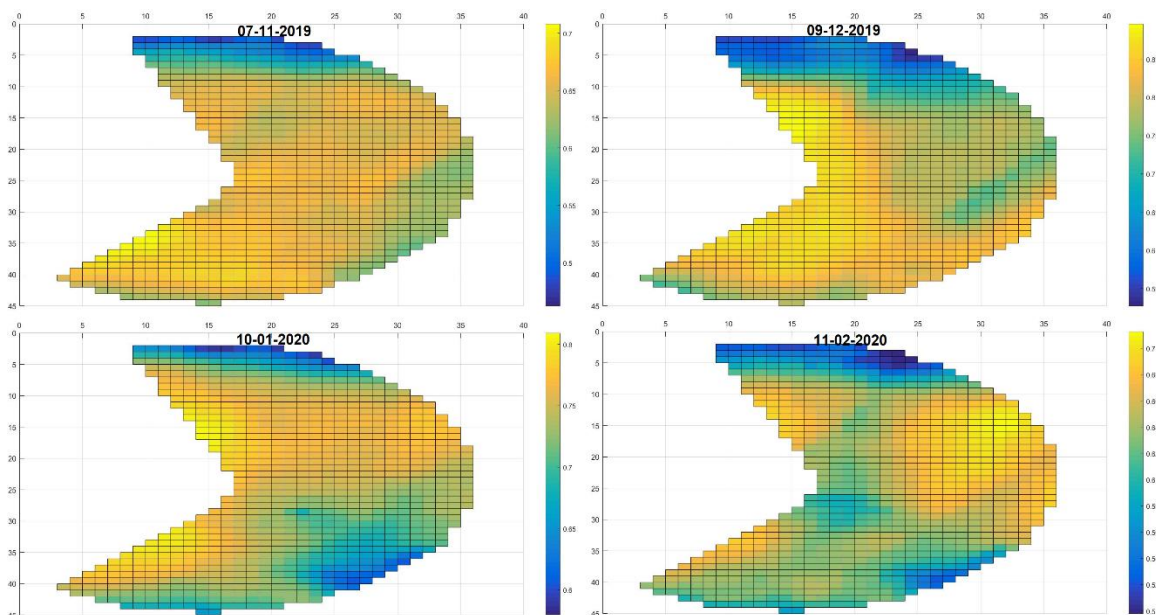


Figura 139. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "27", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

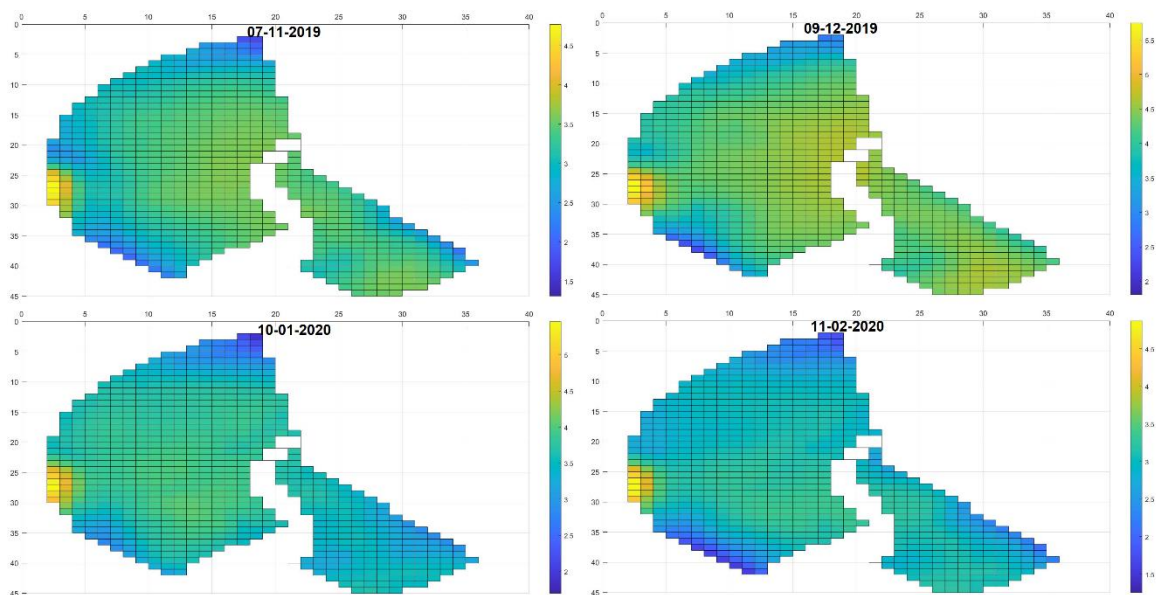


Figura 140. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "28", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

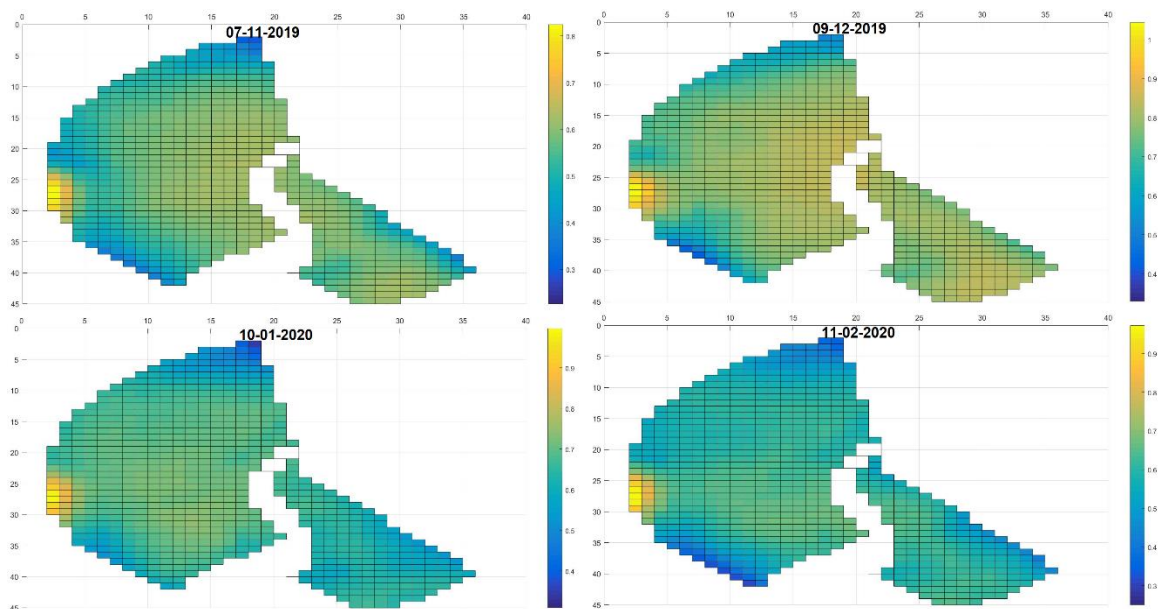


Figura 141. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "28", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

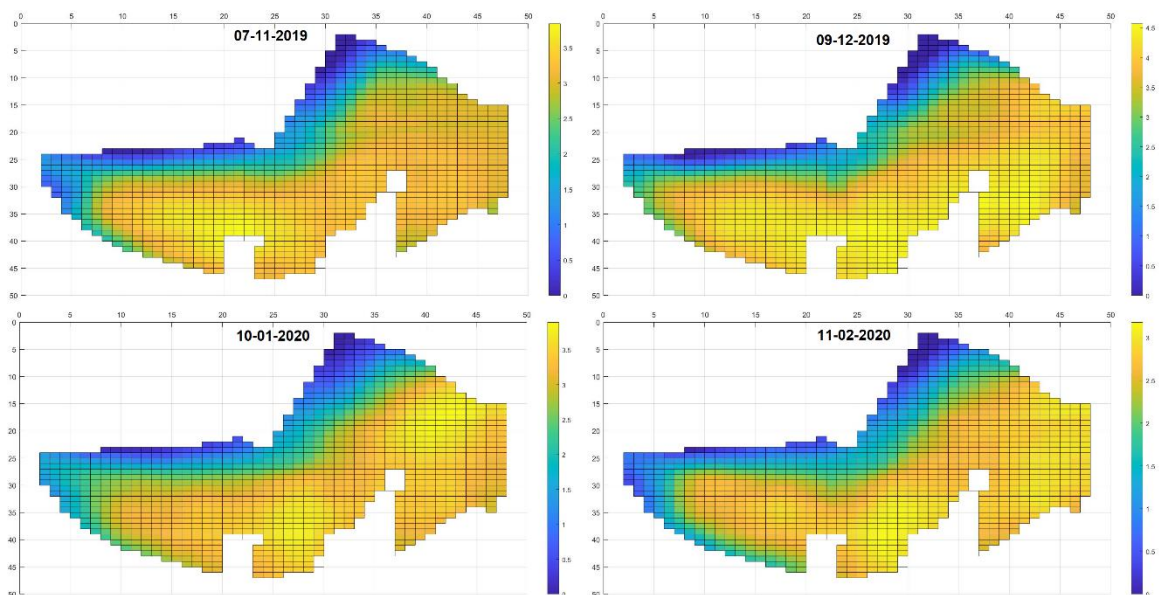


Figura 142. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "29", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

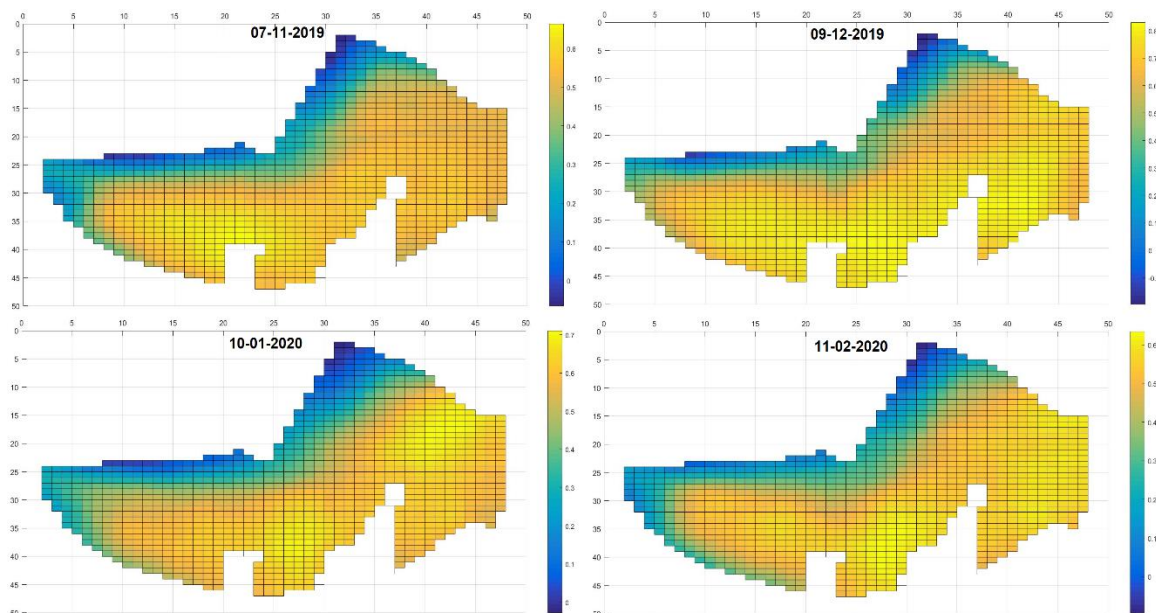


Figura 143. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "29", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

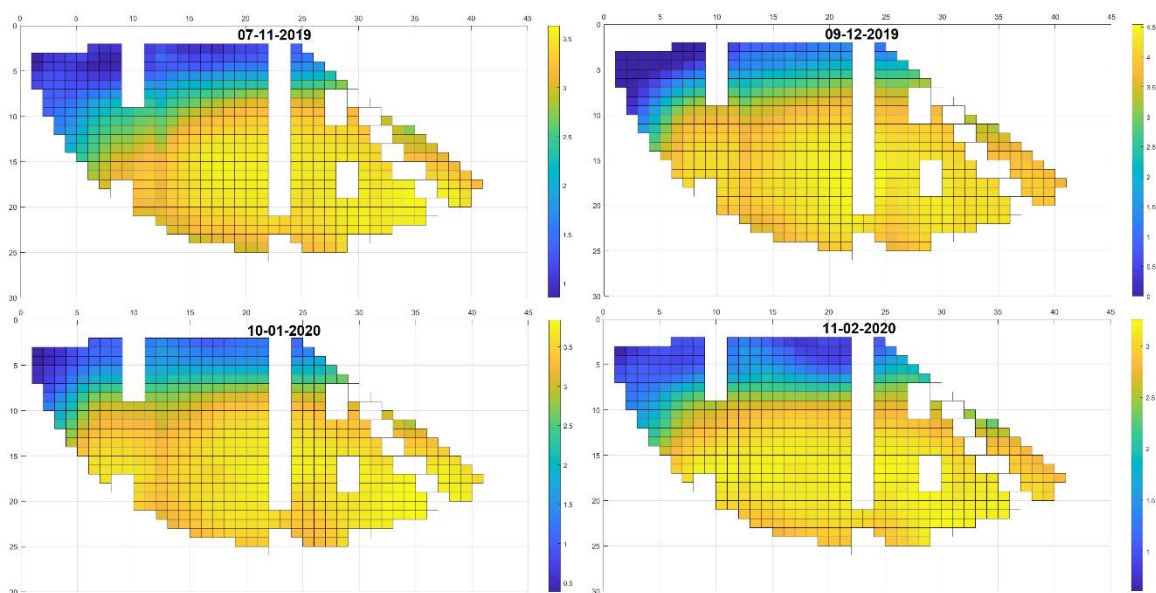


Figura 144. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote "30", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

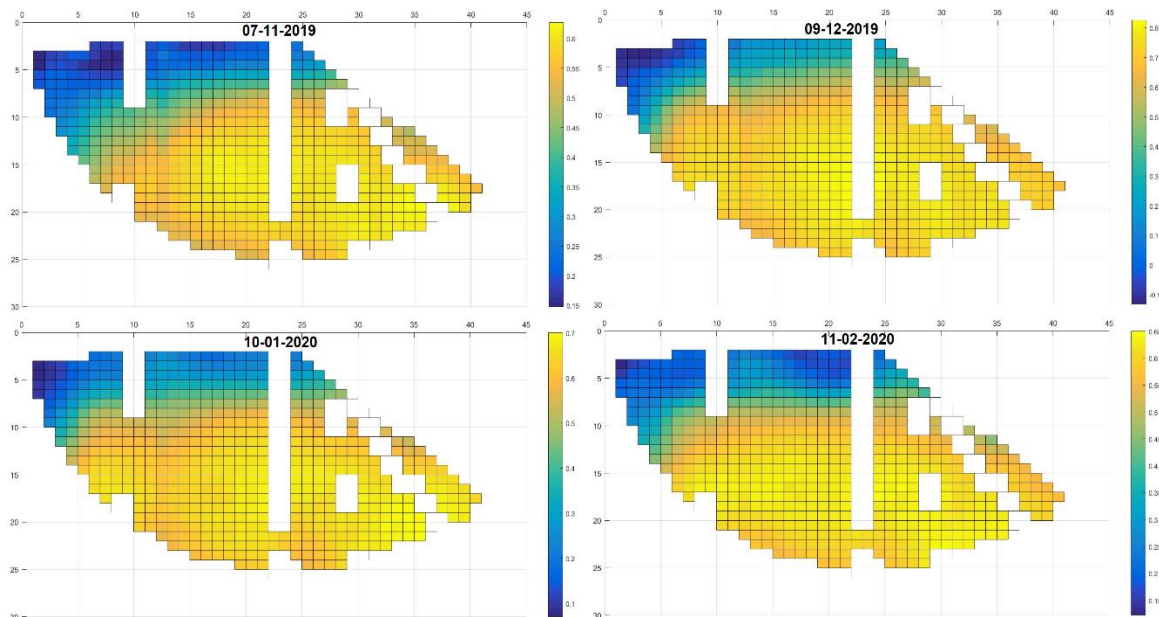


Figura 145. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote “30”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

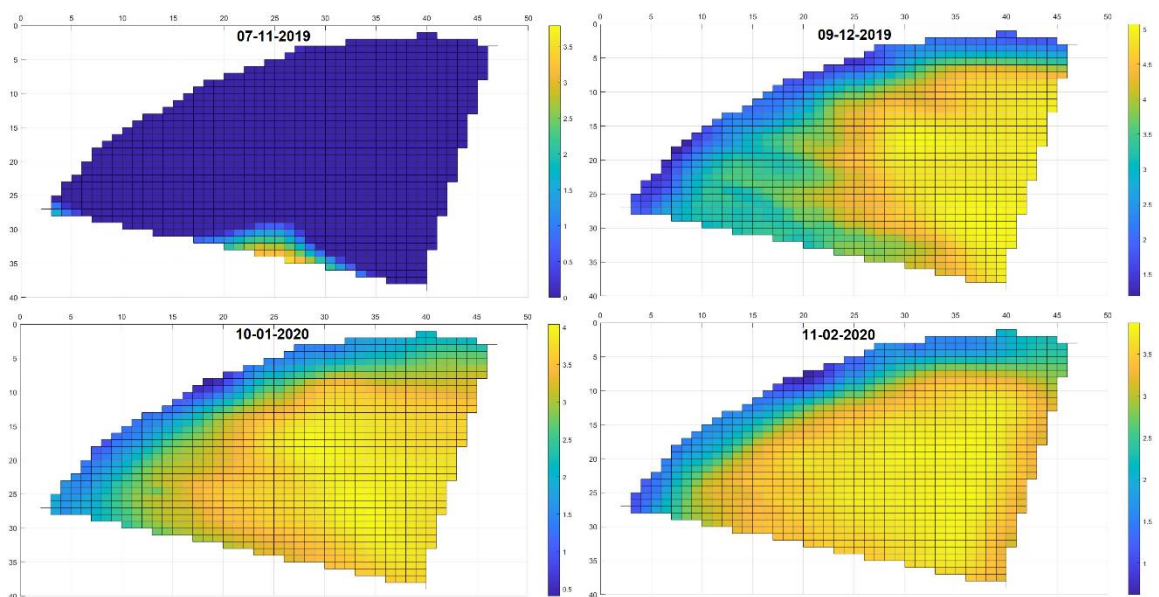


Figura 146. Evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) por píxeles en pivote “31”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

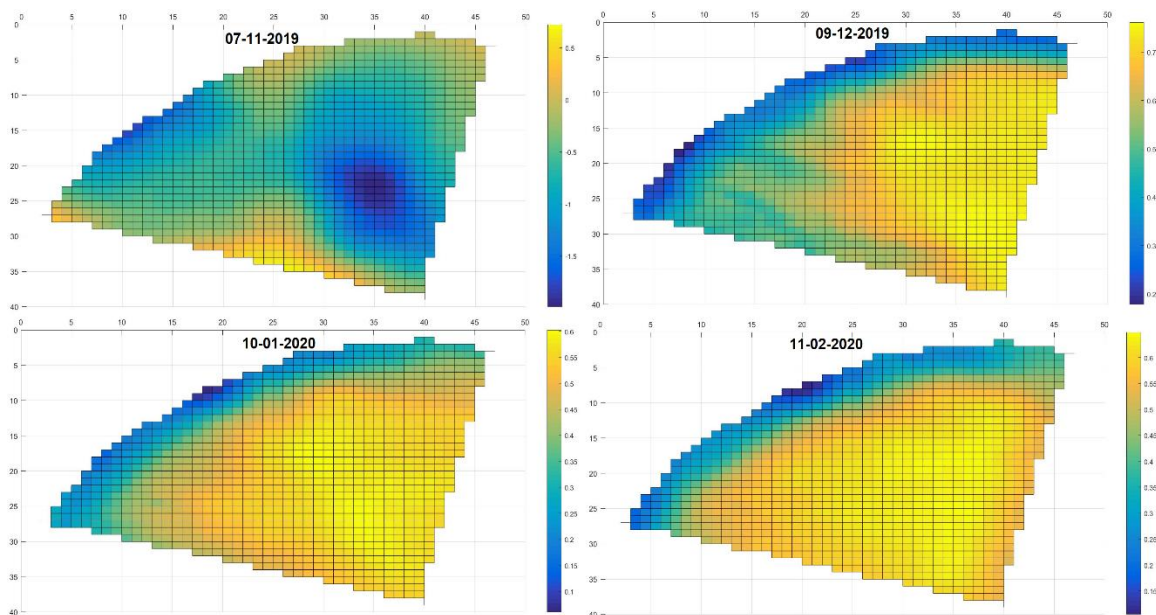


Figura 147. Coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) por píxeles en pivote "31", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

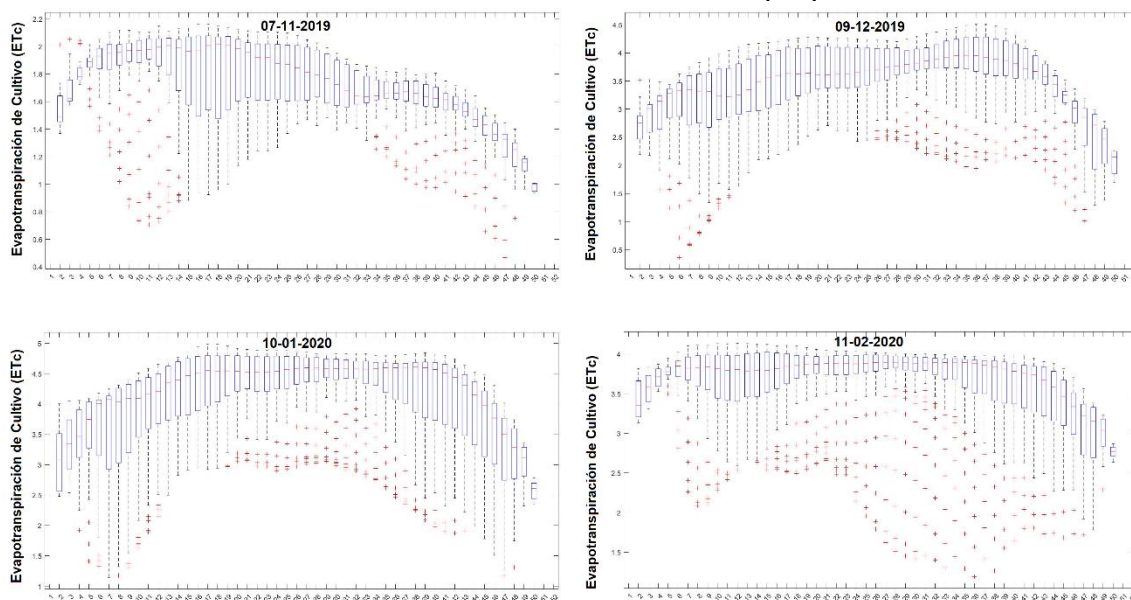


Figura 148. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ET_c actual) en pivote "2", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

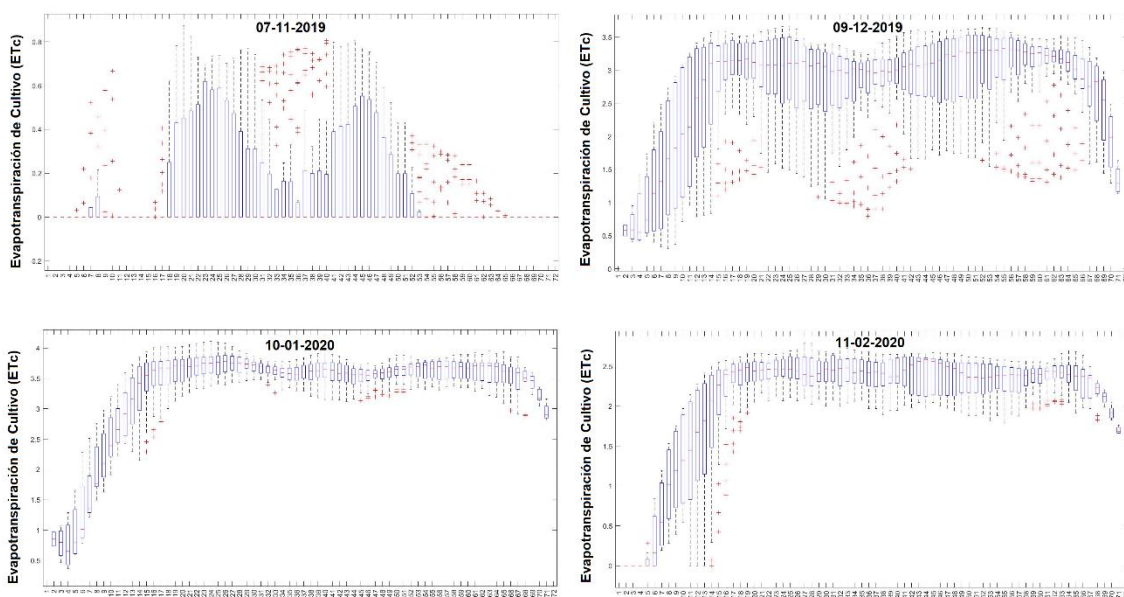


Figura 149. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “3”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

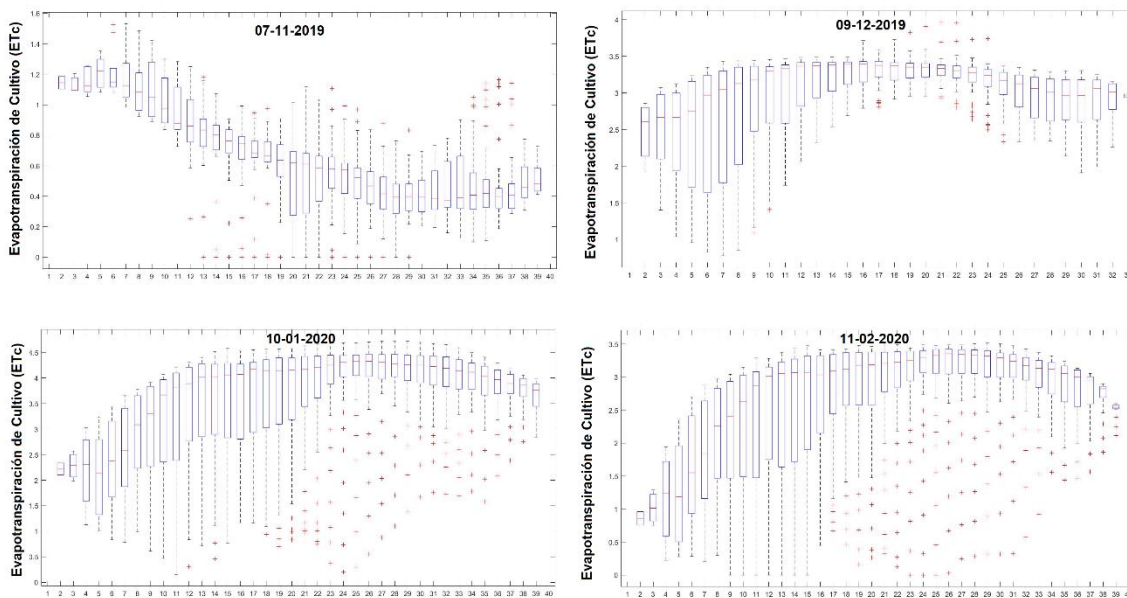


Figura 150. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “4”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

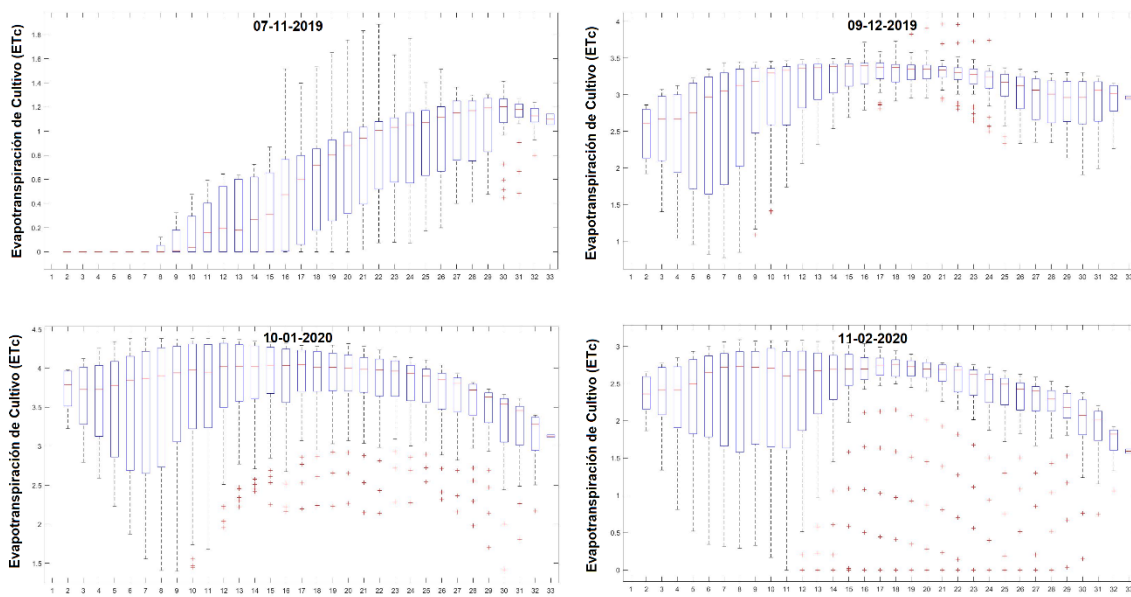


Figura 112. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “5”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

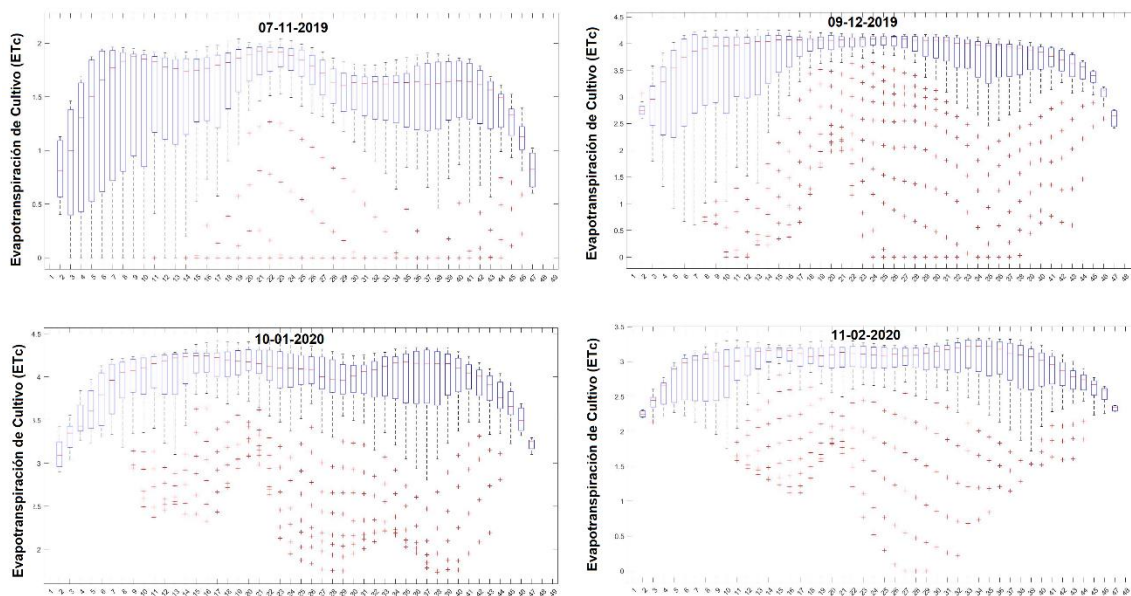


Figura 151. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “6”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

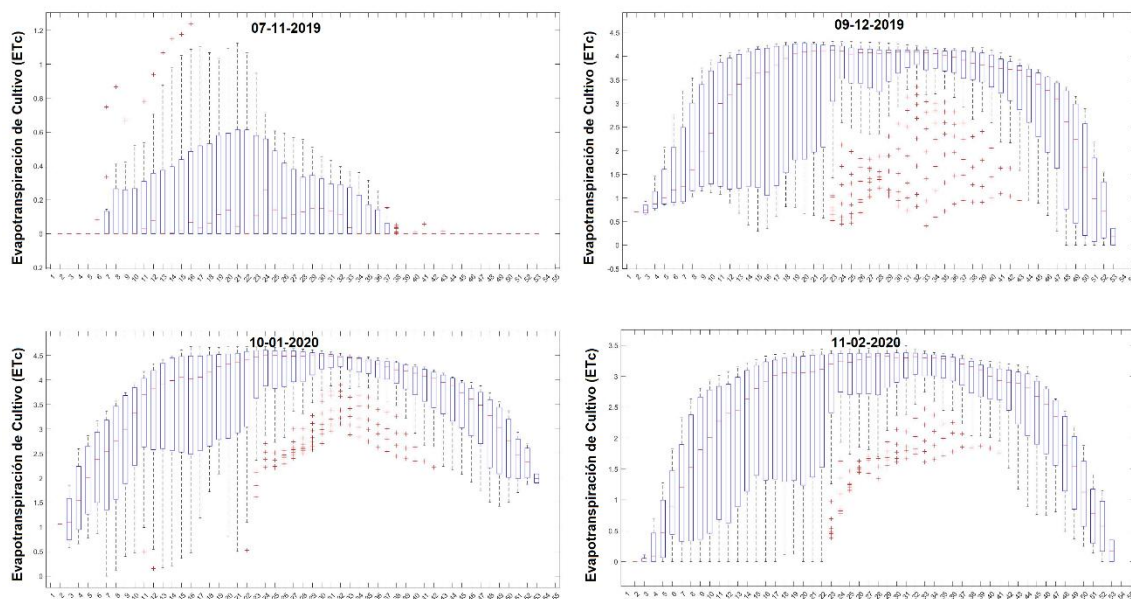


Figura 152. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “7”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

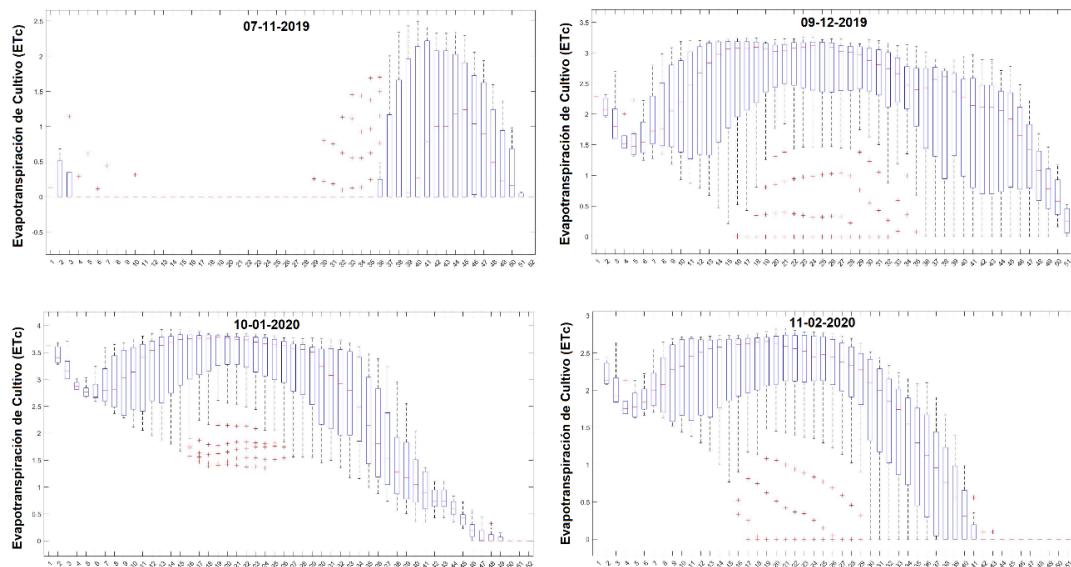


Figura 153. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “8”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

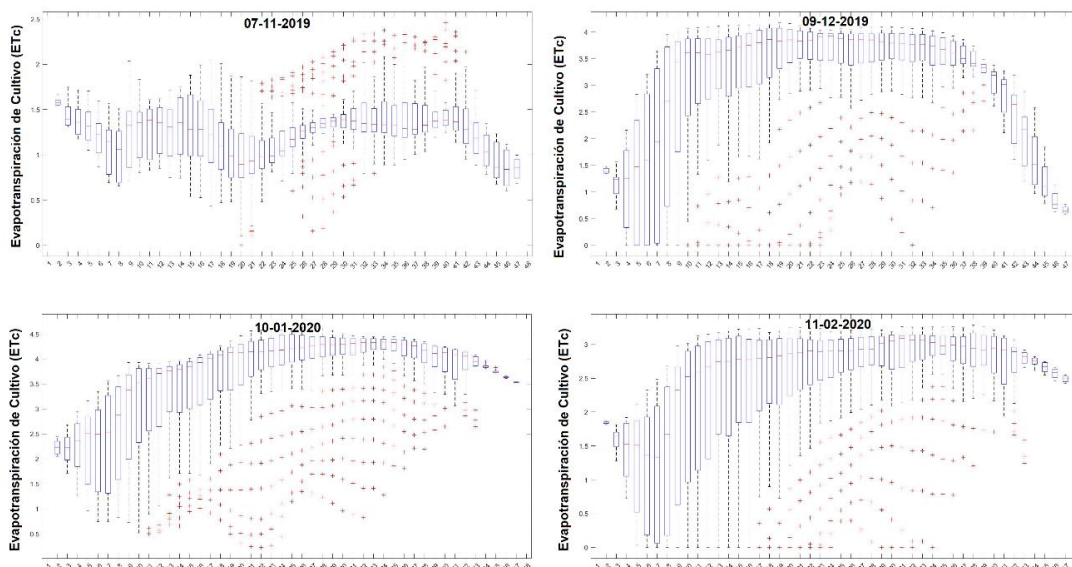


Figura 154. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “9”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

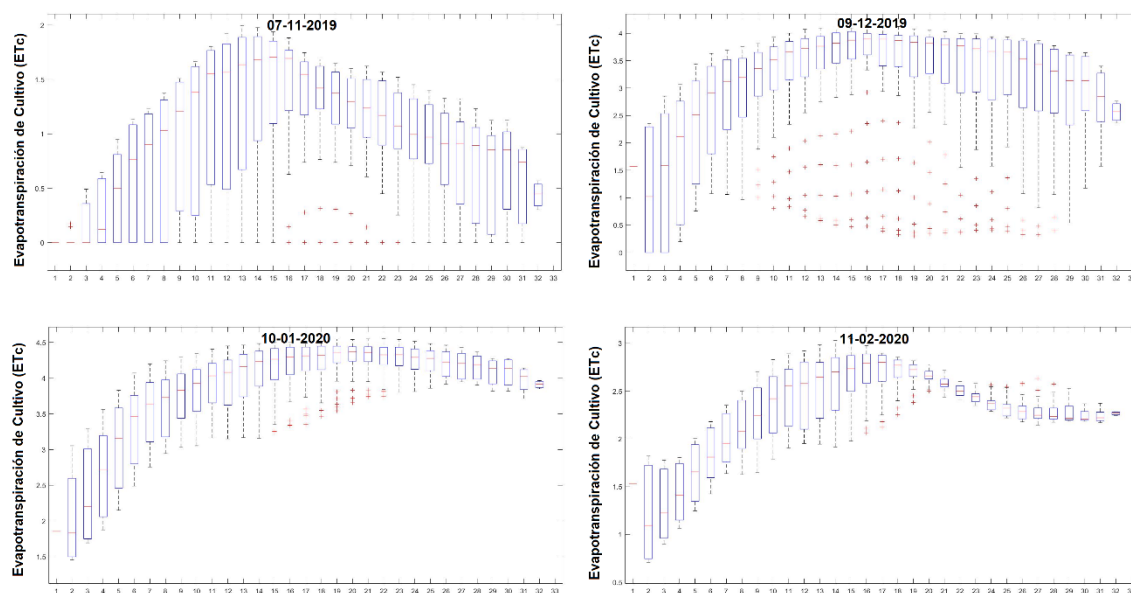


Figura 155. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “10”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

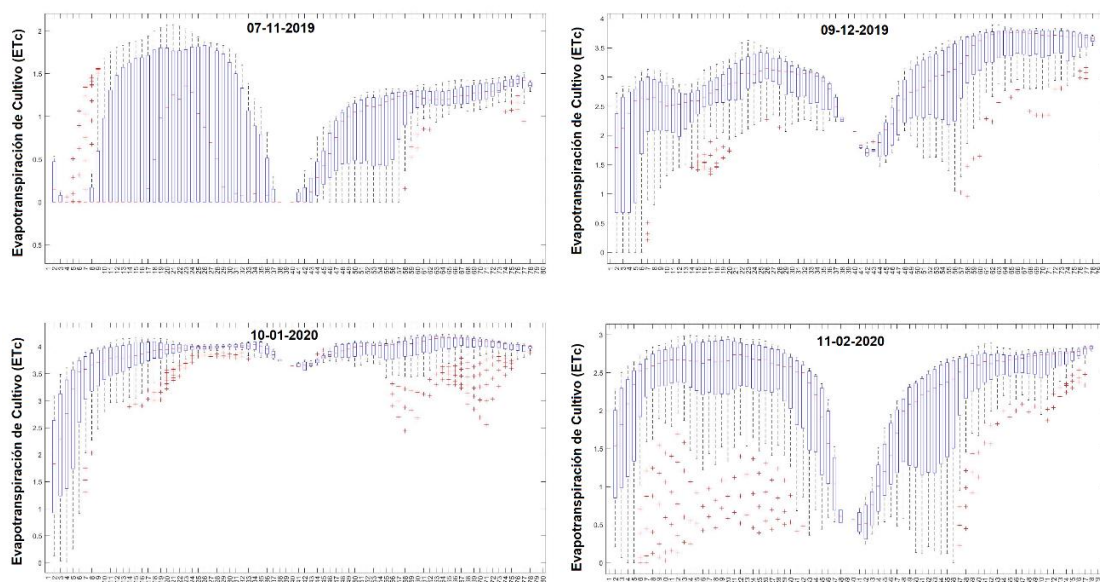


Figura 156. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “11”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

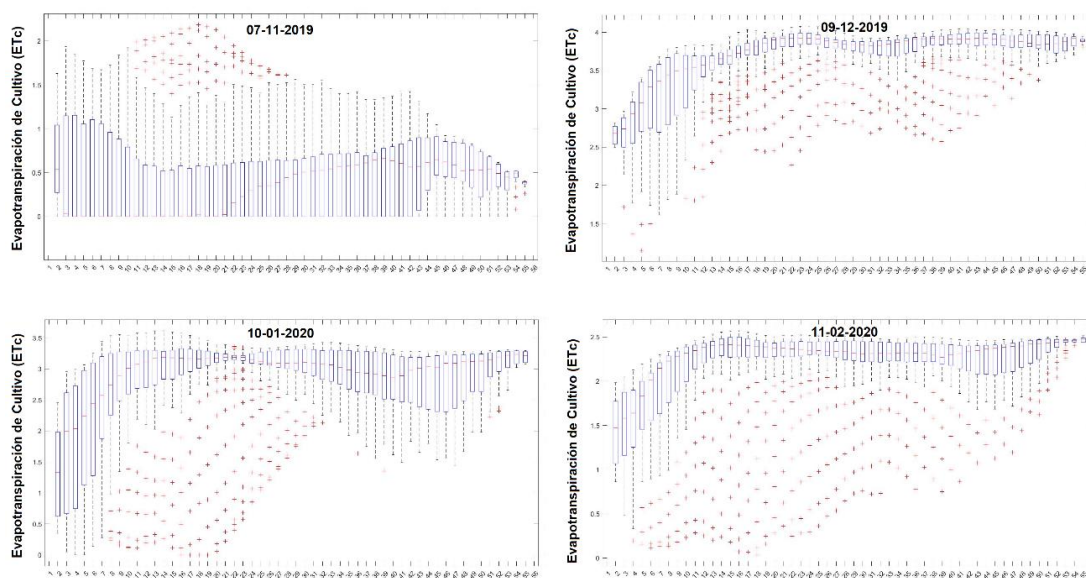


Figura 157. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “12”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

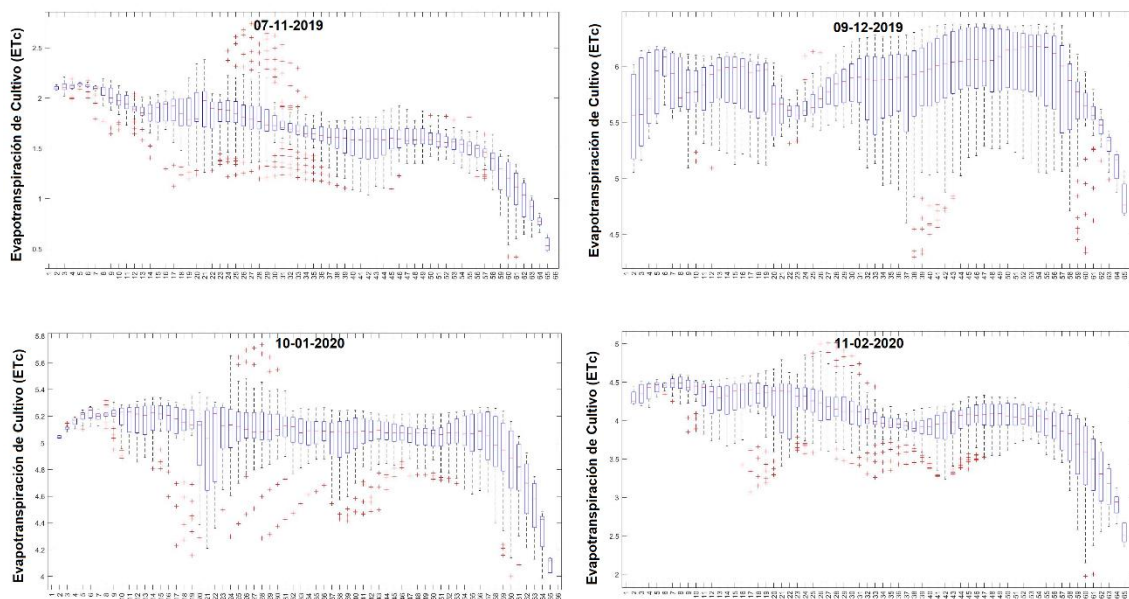


Figura 158. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “13”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

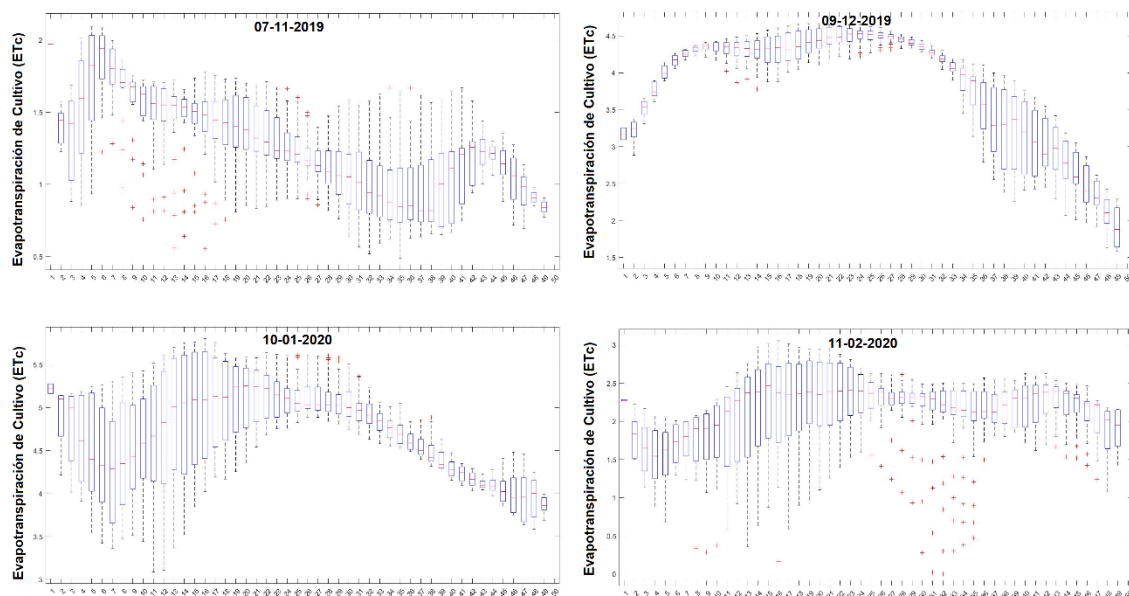


Figura 159. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “14”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

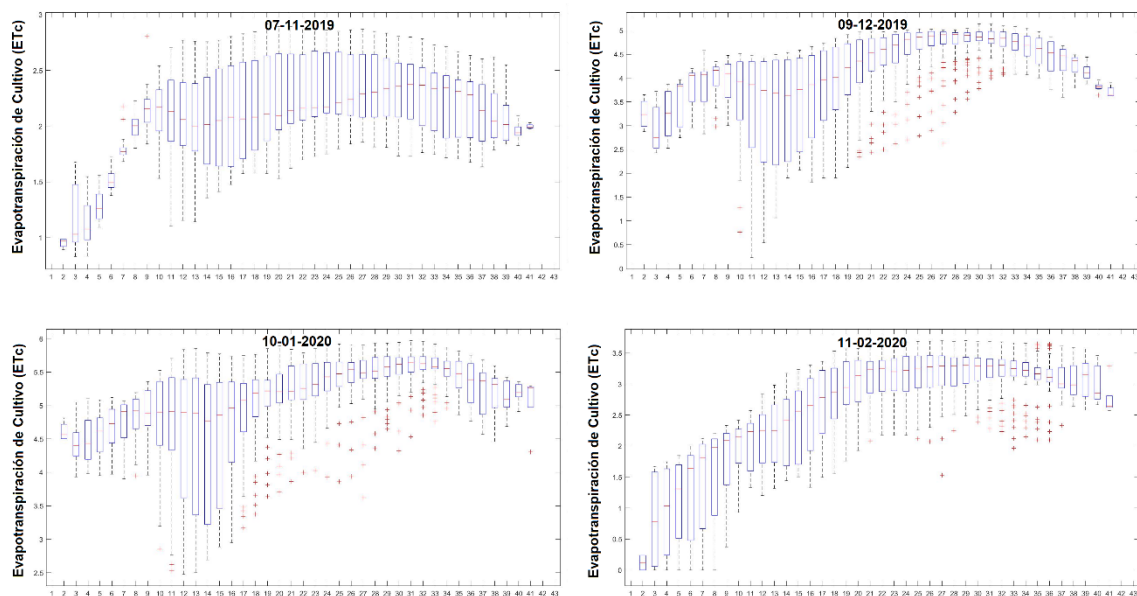


Figura 160. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “15”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

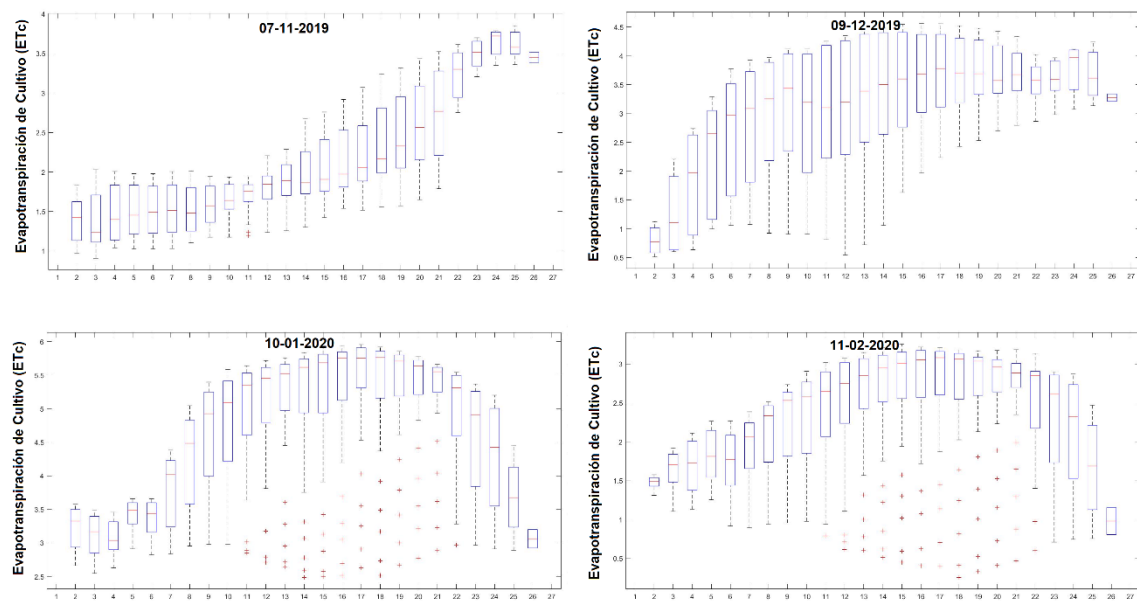


Figura 161. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “16”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

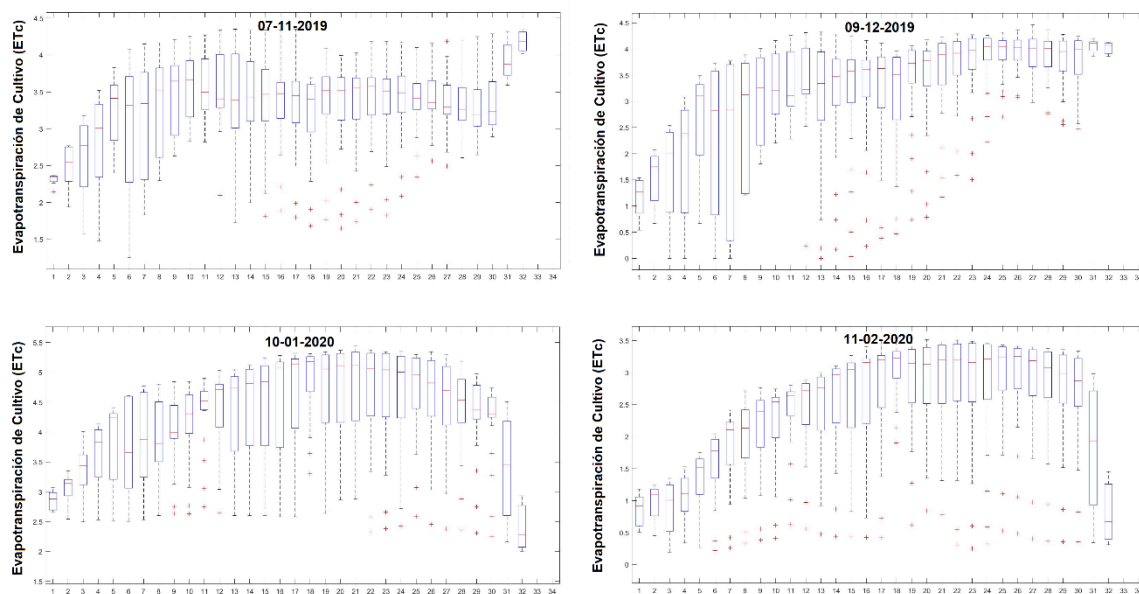


Figura 162. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “17”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

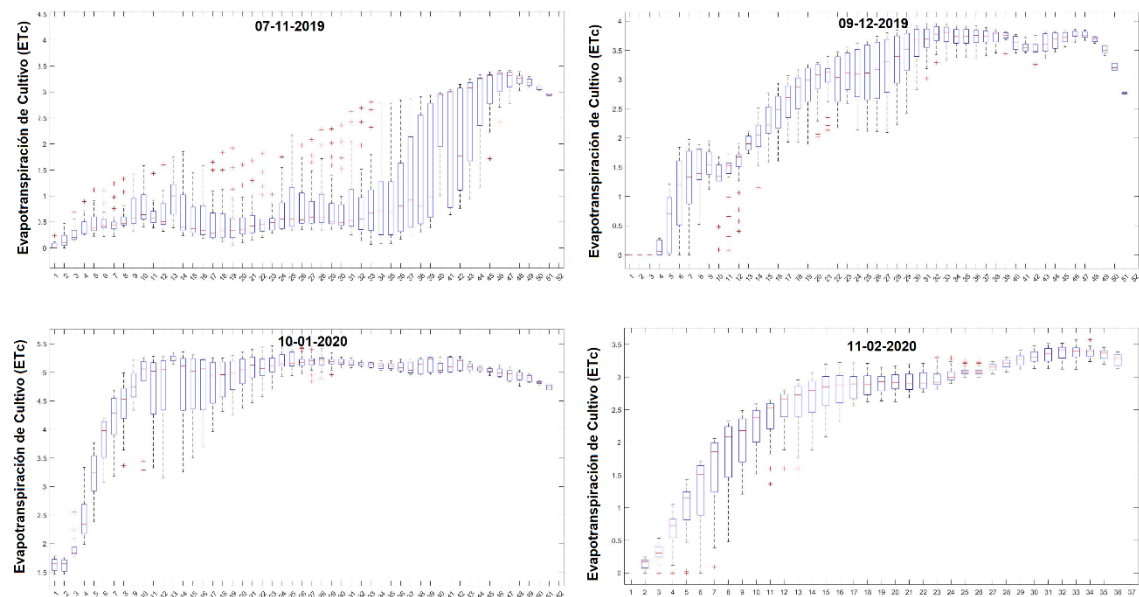


Figura 163. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “18”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020.

Fuente: Elaboración propia.

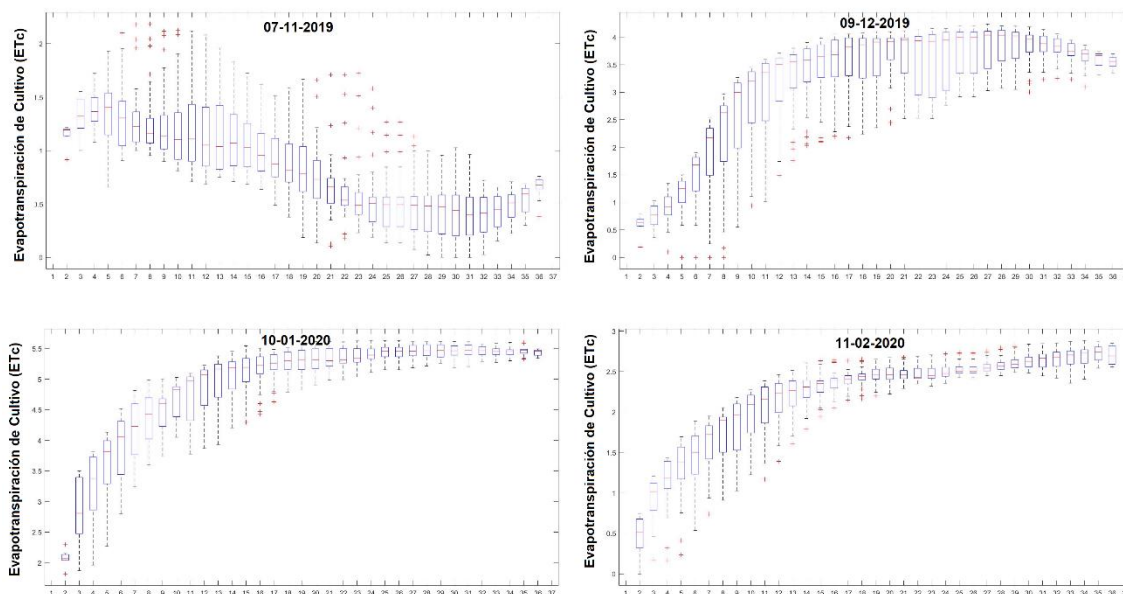


Figura 164. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “19”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

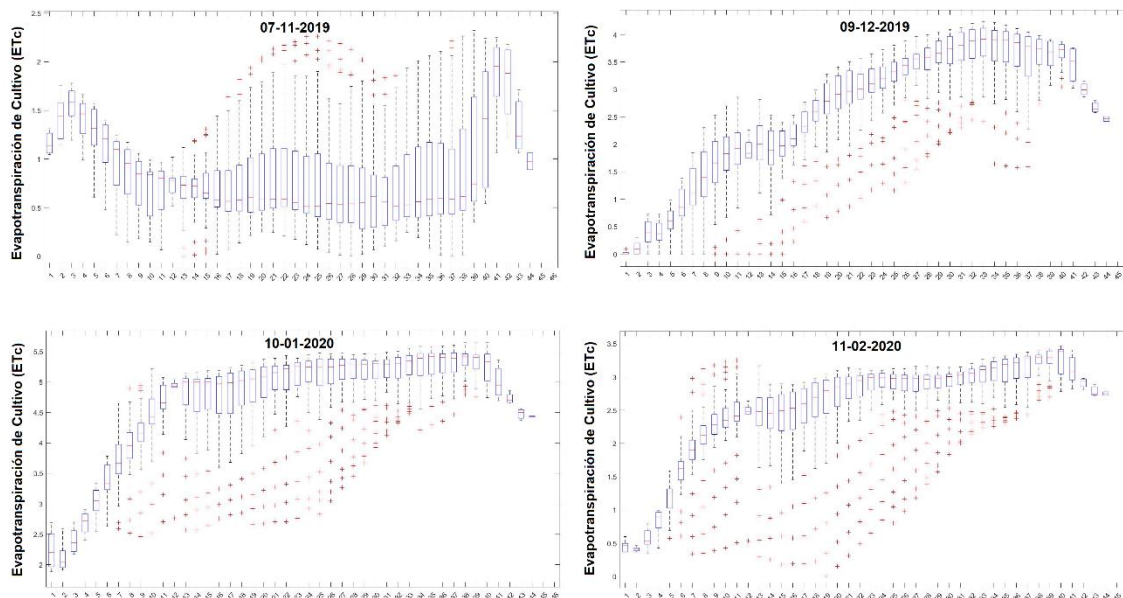


Figura 165. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “20”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

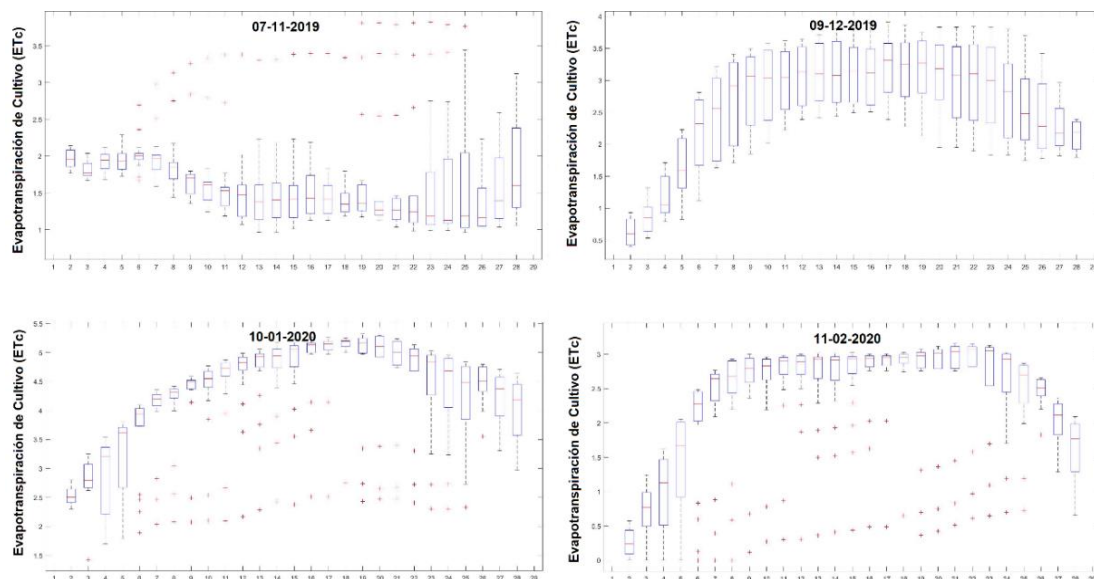


Figura 166. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “21”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

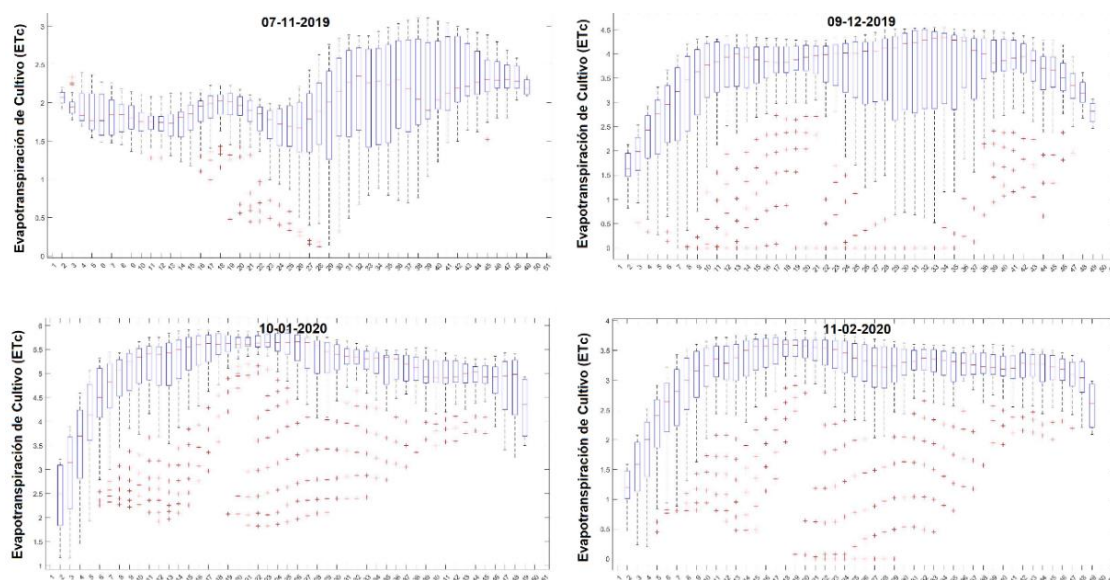


Figura 167. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “22”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero 2020. Fuente: Elaboración propia.

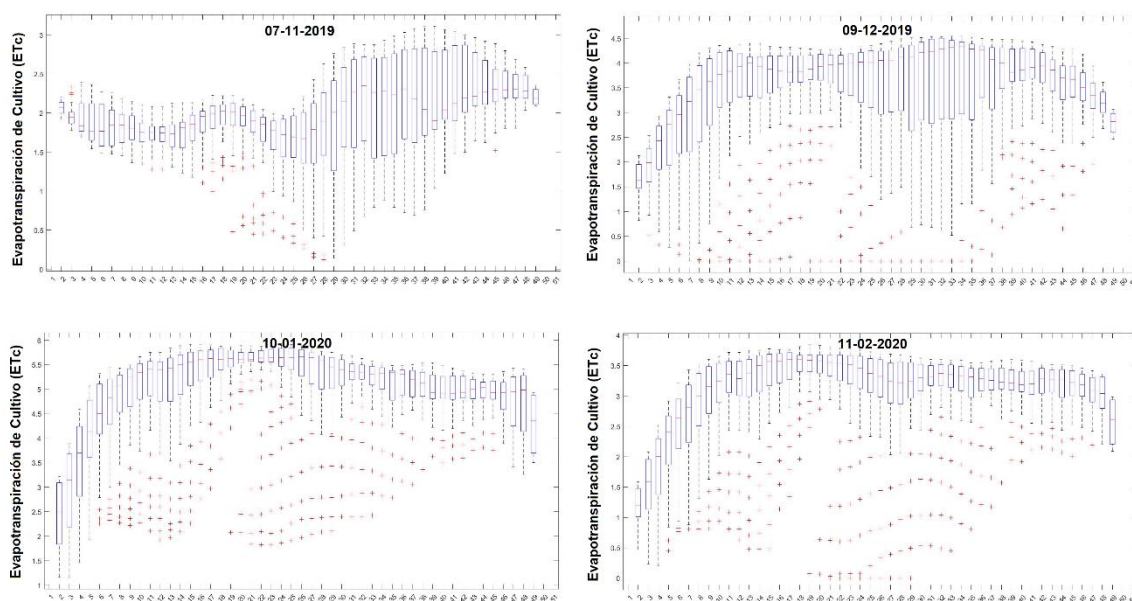


Figura 168. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “23”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

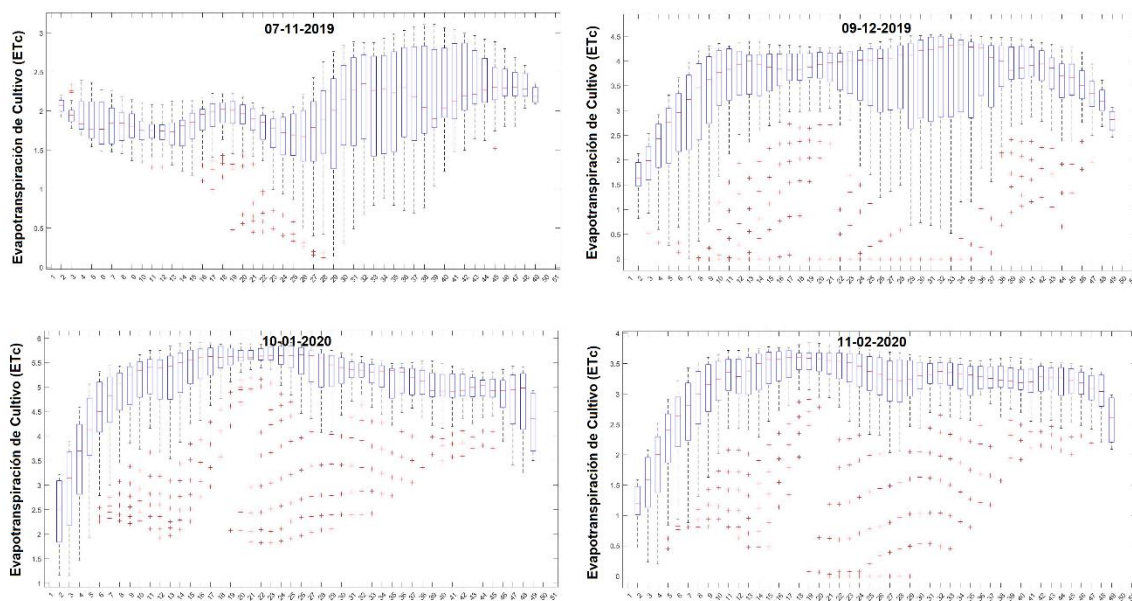


Figura 169. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “24”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

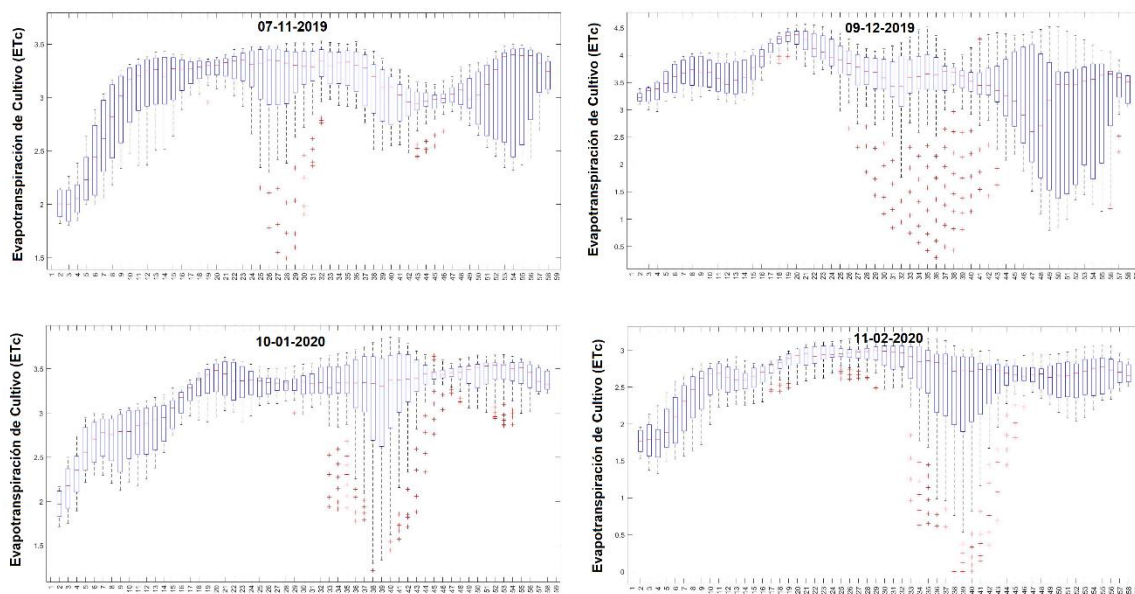


Figura 170. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “25”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

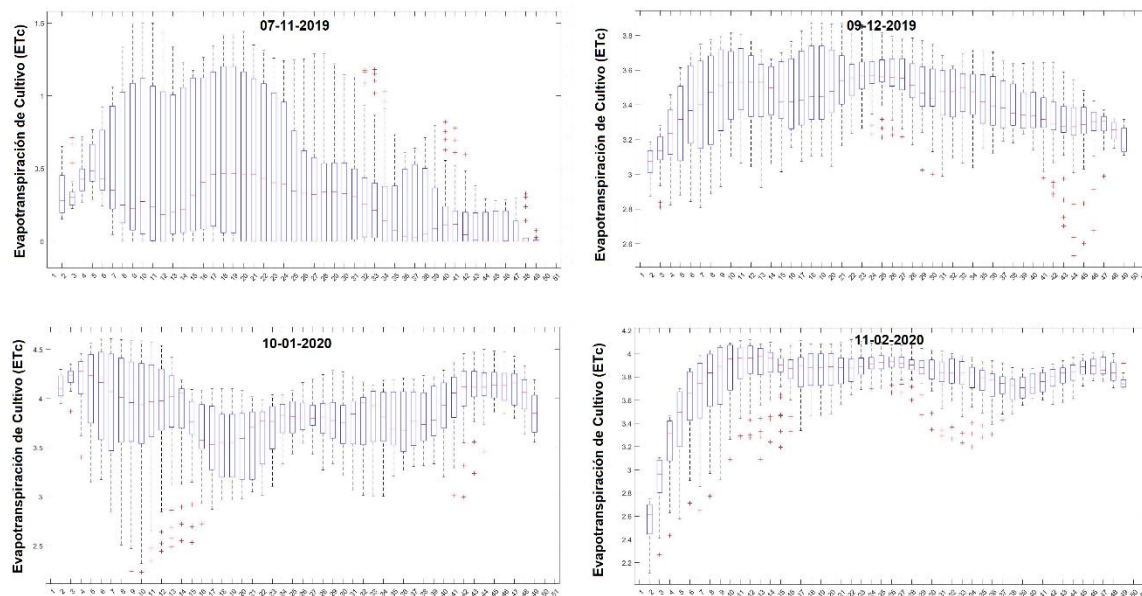


Figura 171. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “26”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

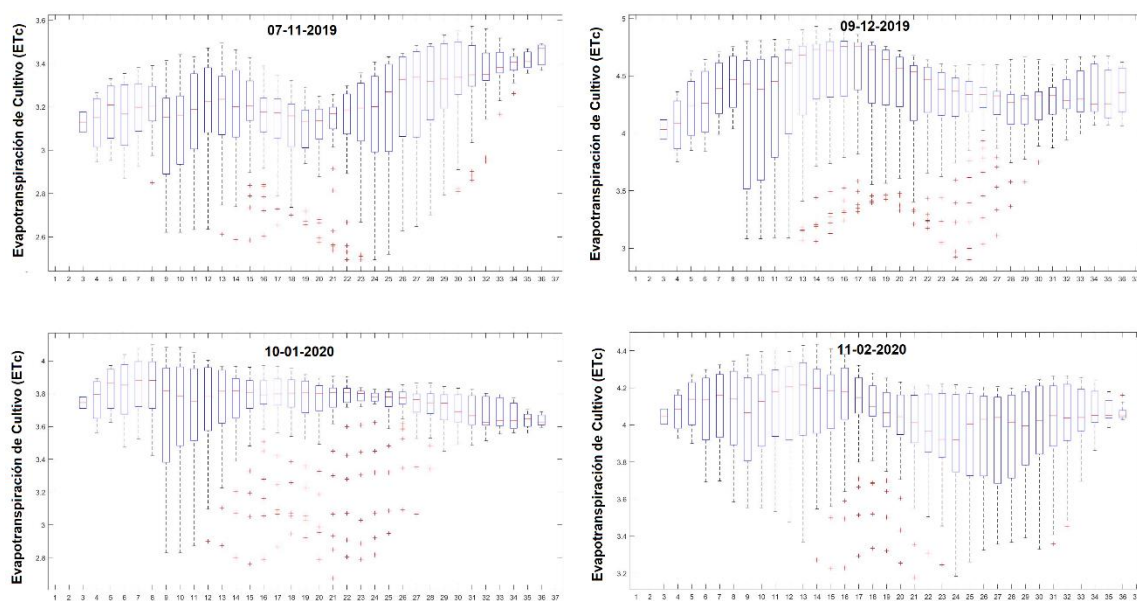


Figura 172. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “27”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

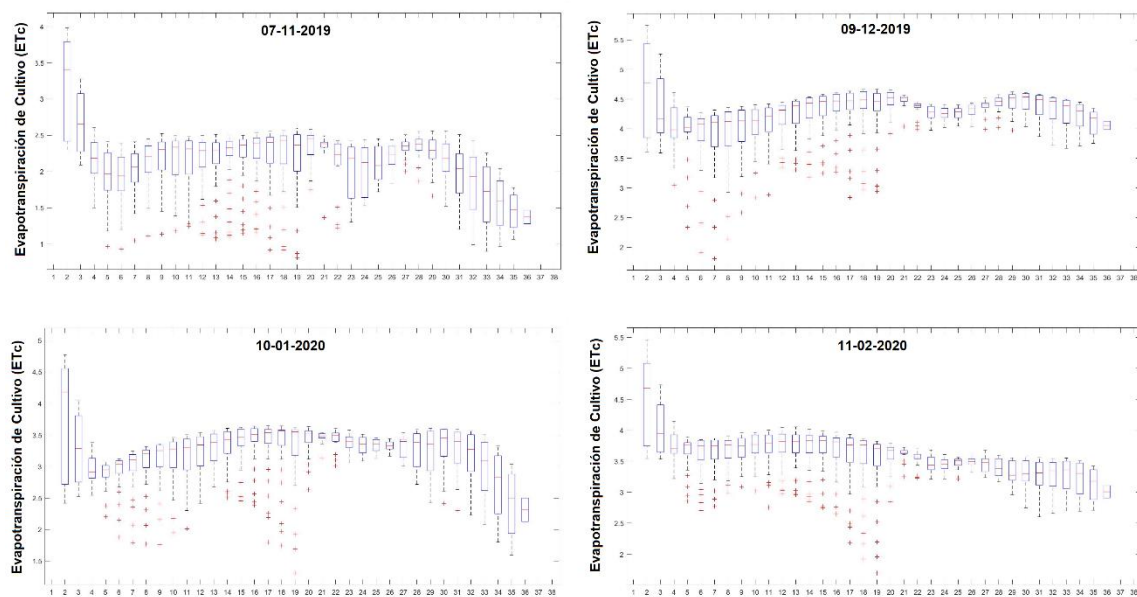


Figura 173. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “28”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

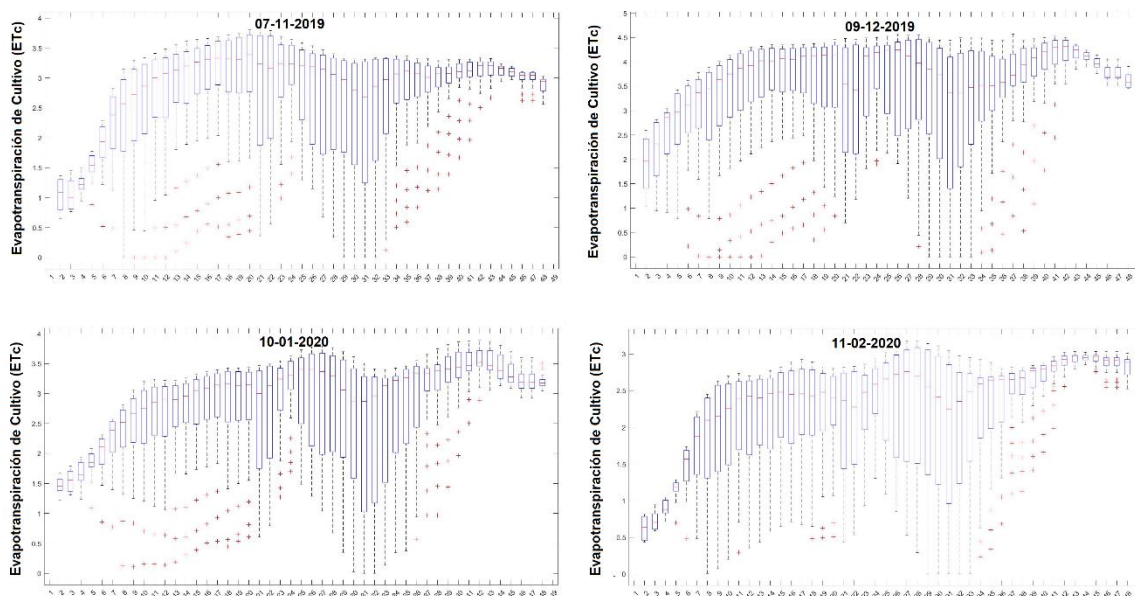


Figura 174. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “29”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

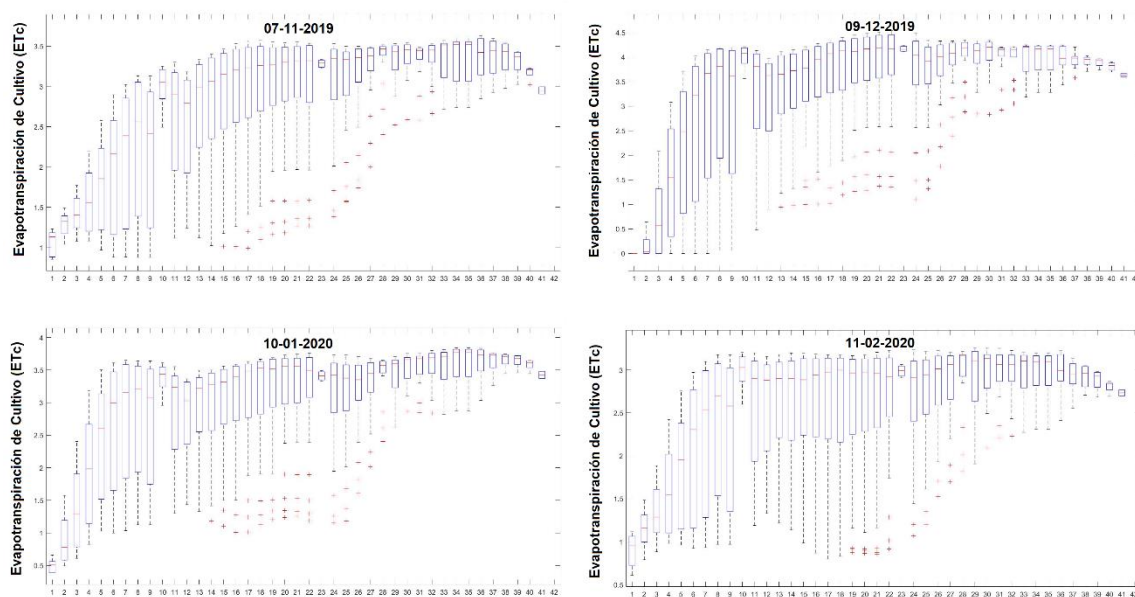


Figura 175. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “30”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

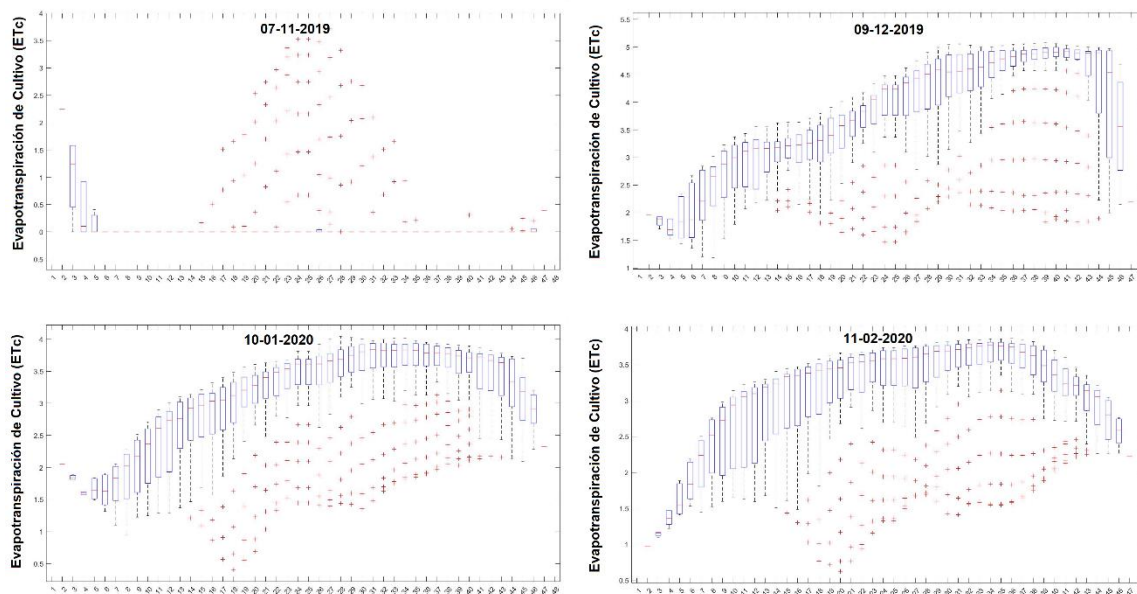


Figura 176. Gráfico de caja (Box plot) de la evapotranspiración de cultivo actual de remolacha azucarera (ETc actual) en pivote “31”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

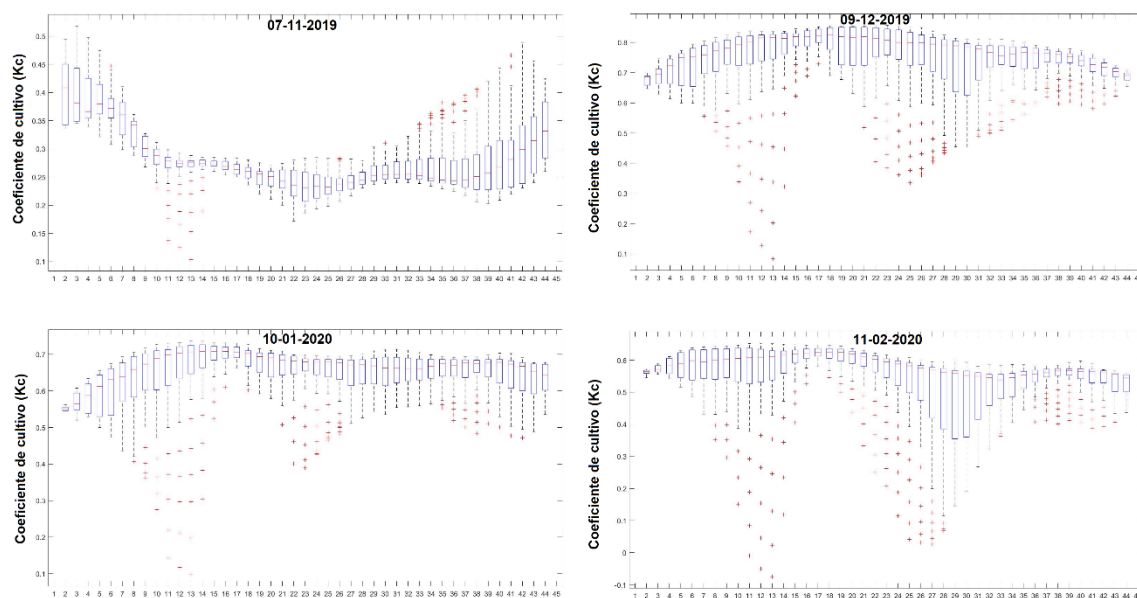


Figura 177. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “1”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

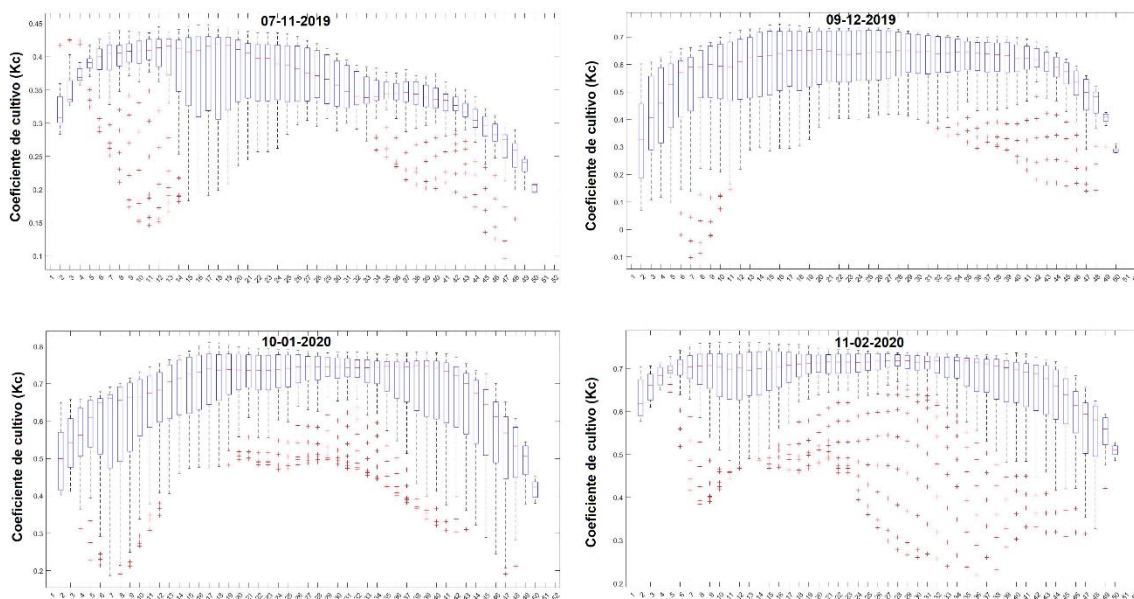


Figura 178. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “2”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

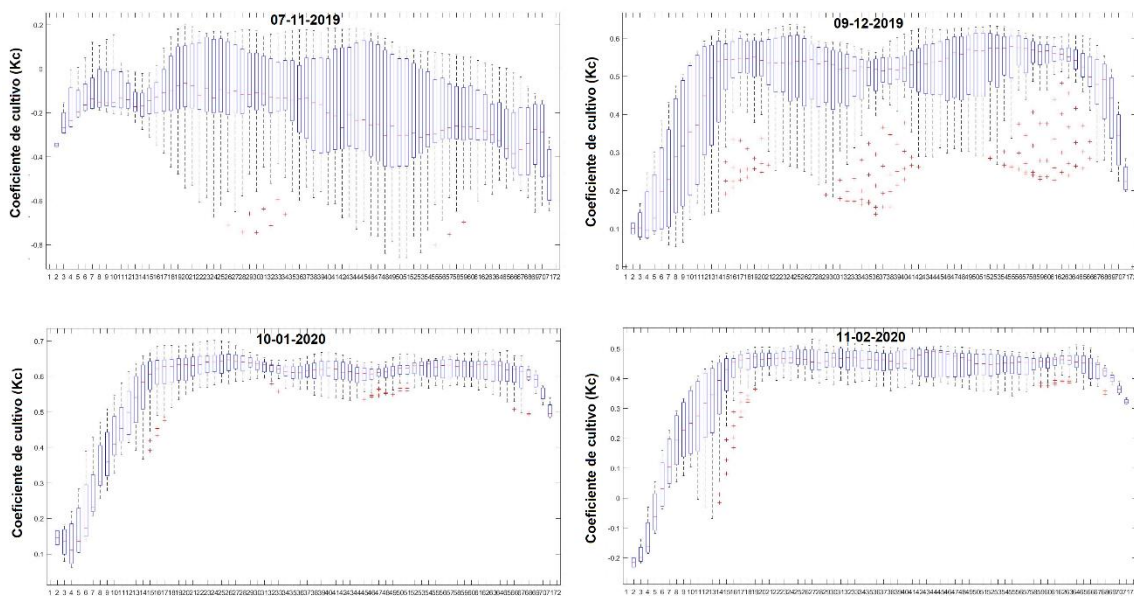


Figura 179. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “3”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

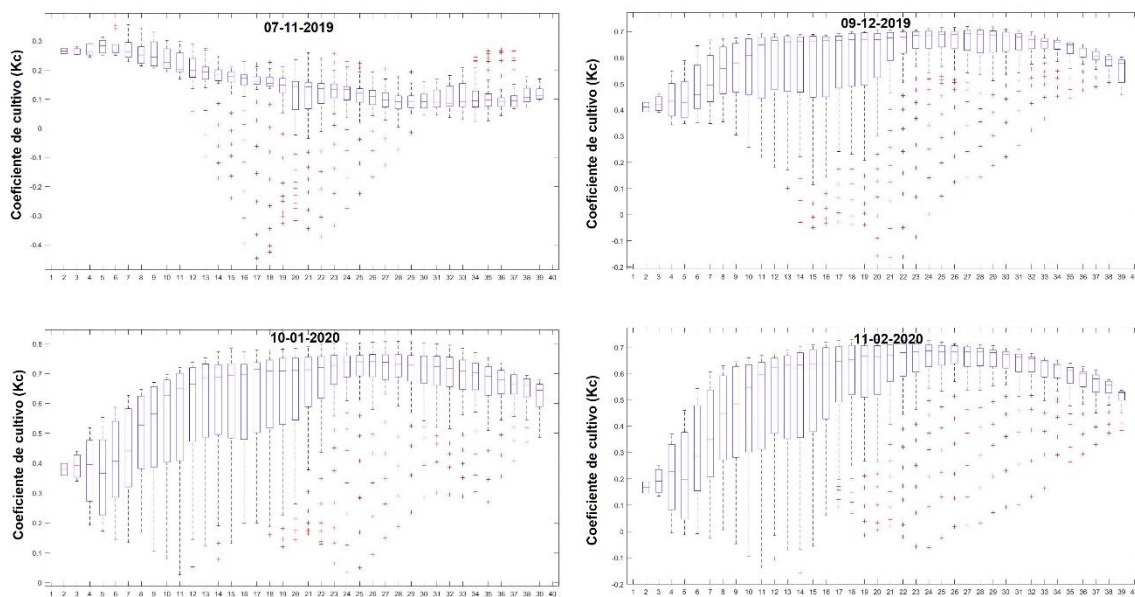


Figura 180. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “4”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

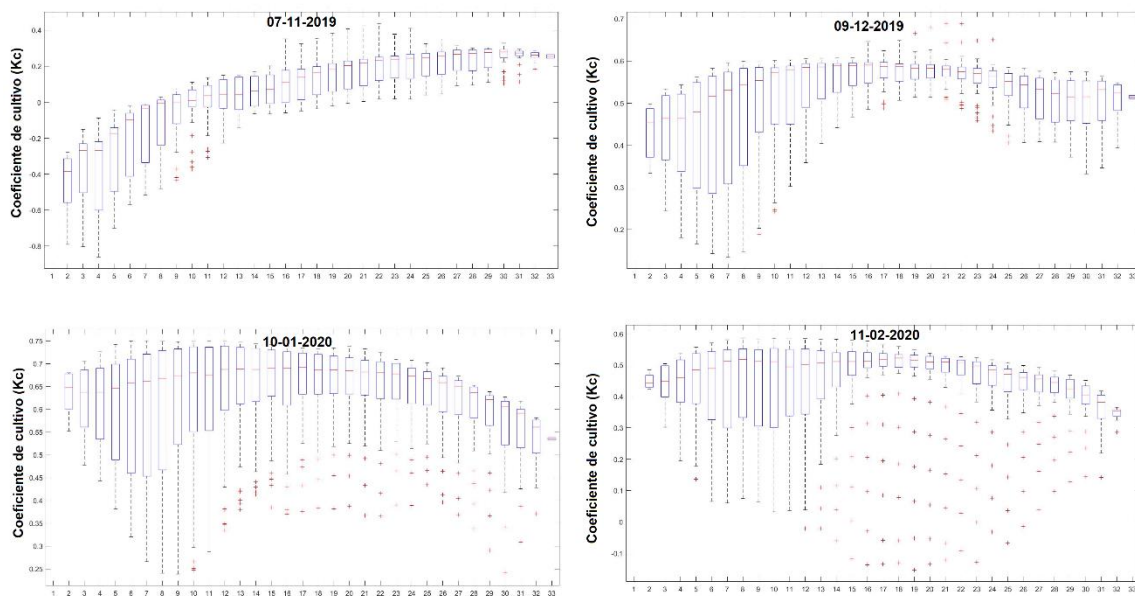


Figura 181. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “5”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

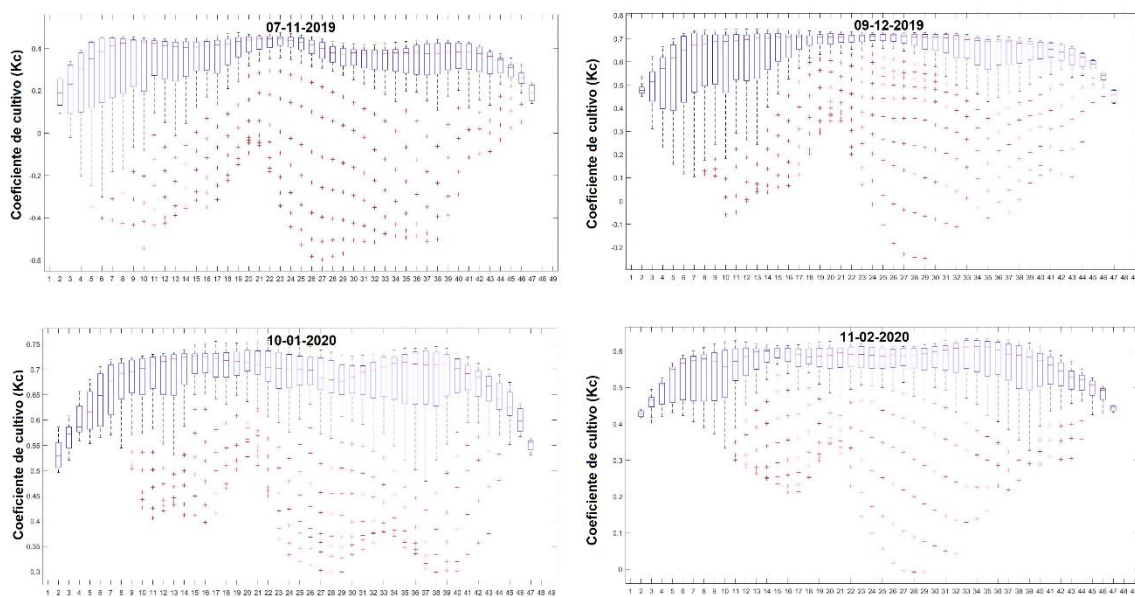


Figura 182. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “6”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

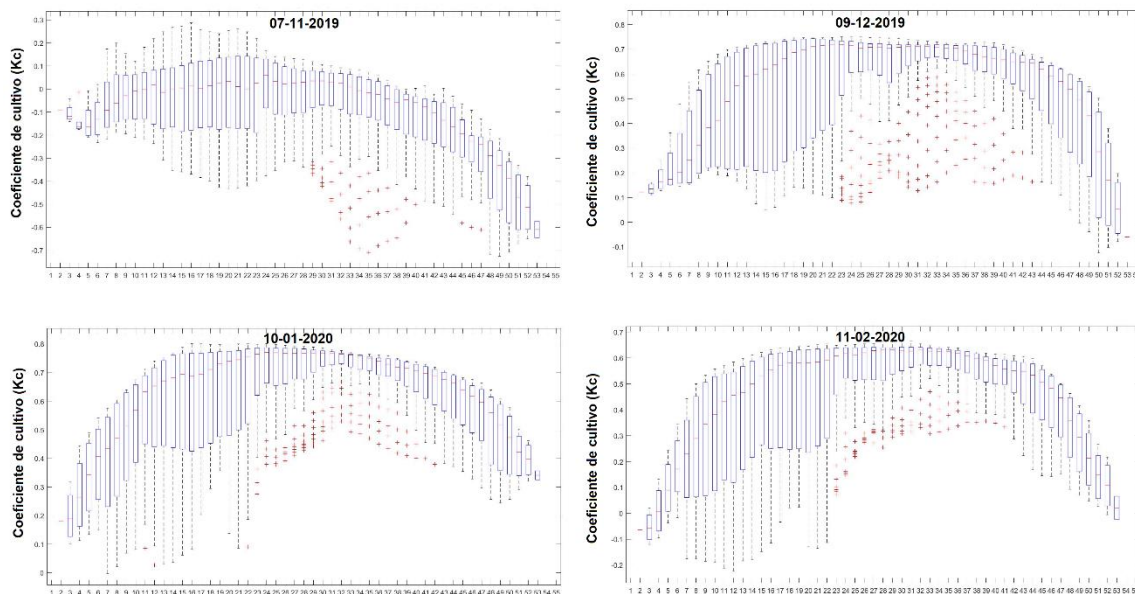


Figura 183. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “7”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

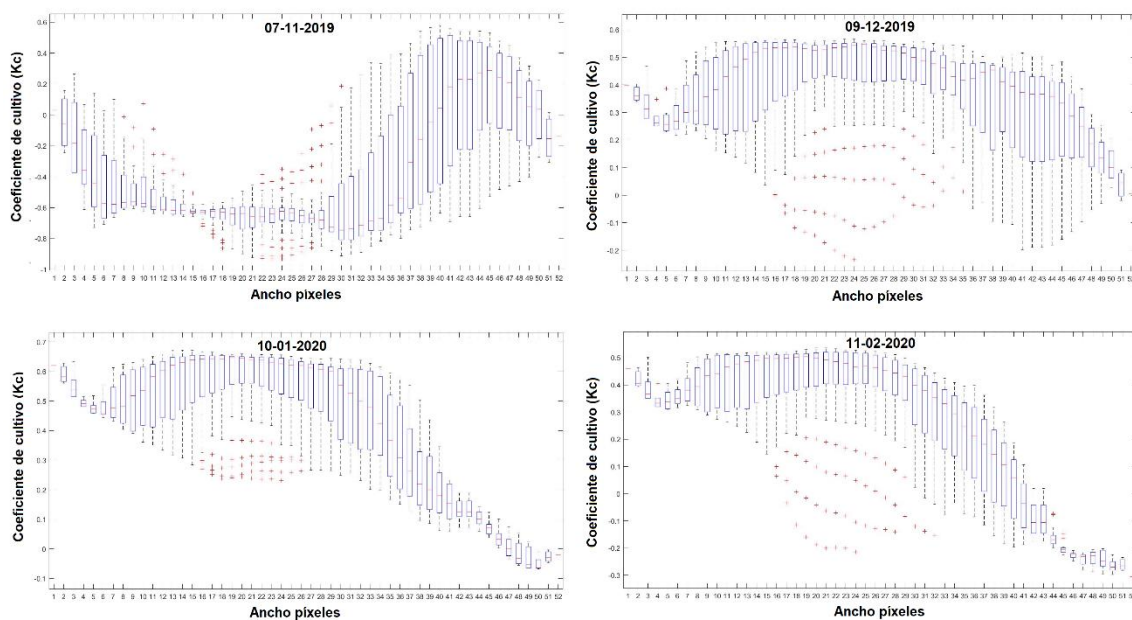


Figura 184. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “8”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

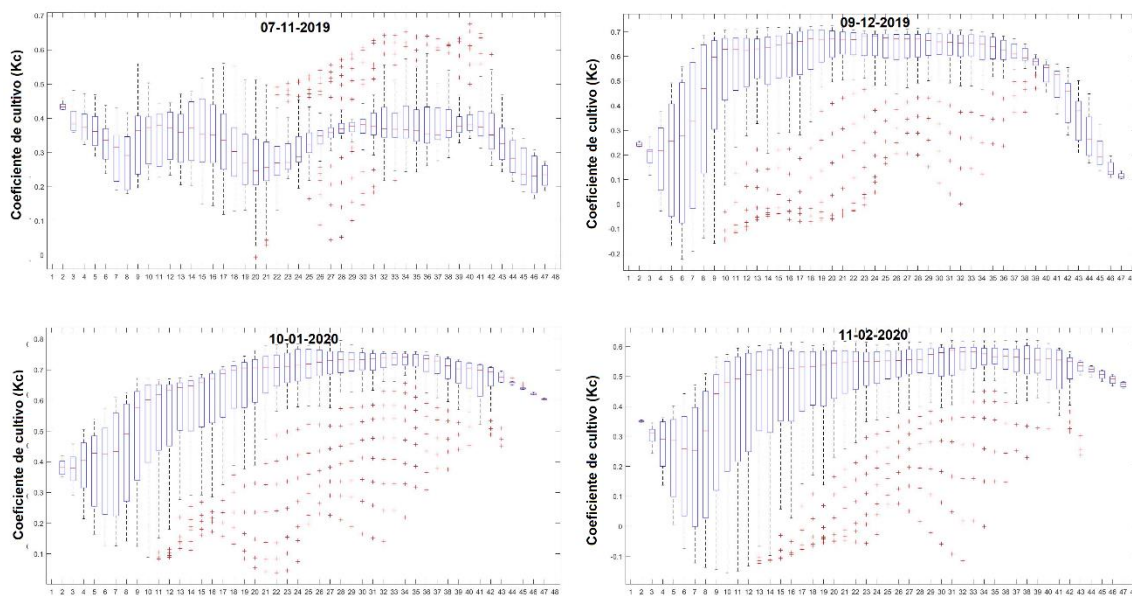


Figura 185. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “9”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

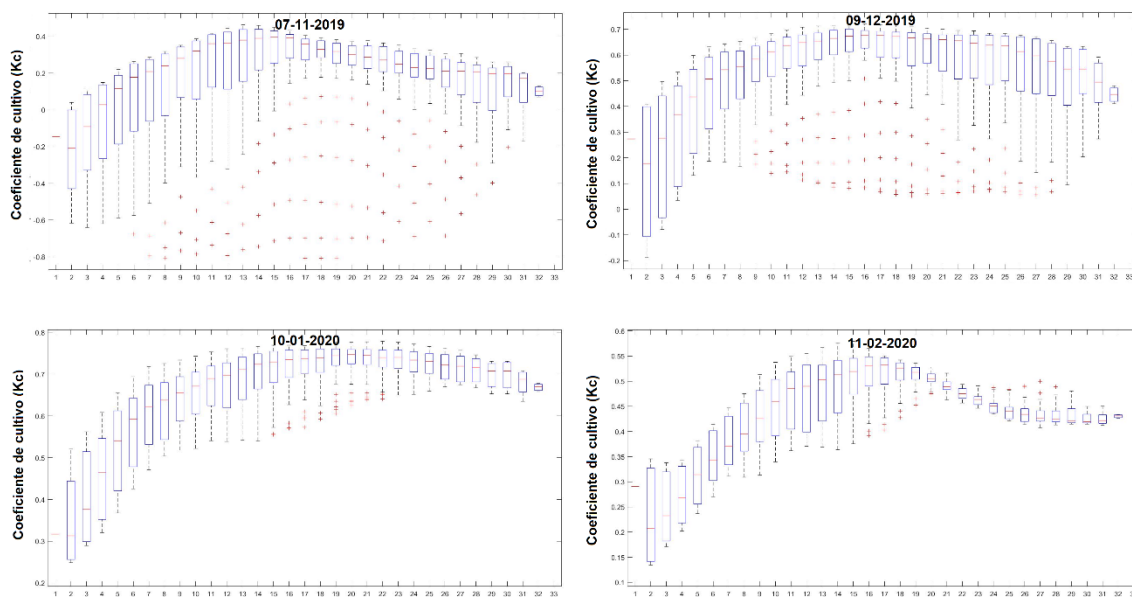


Figura 186. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “10”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

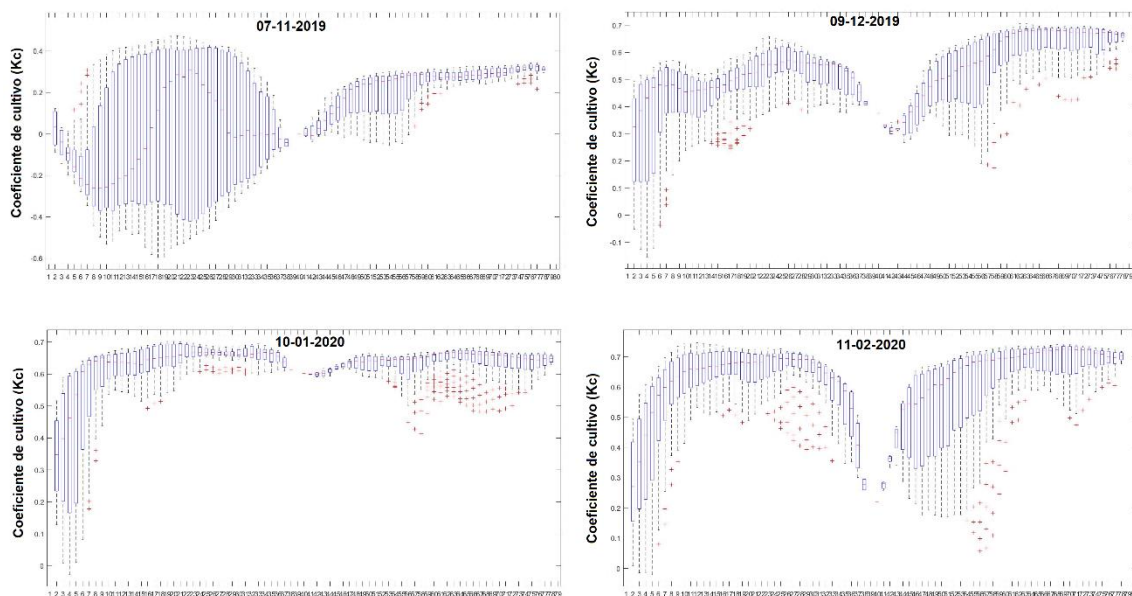


Figura 187. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “11”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

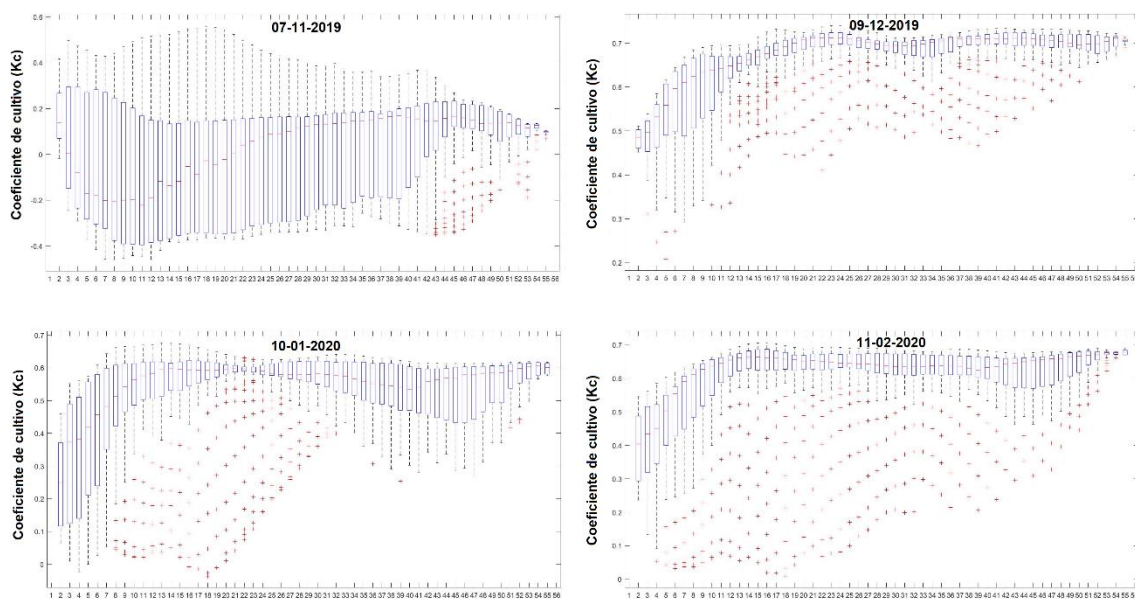


Figura 188. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “12”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

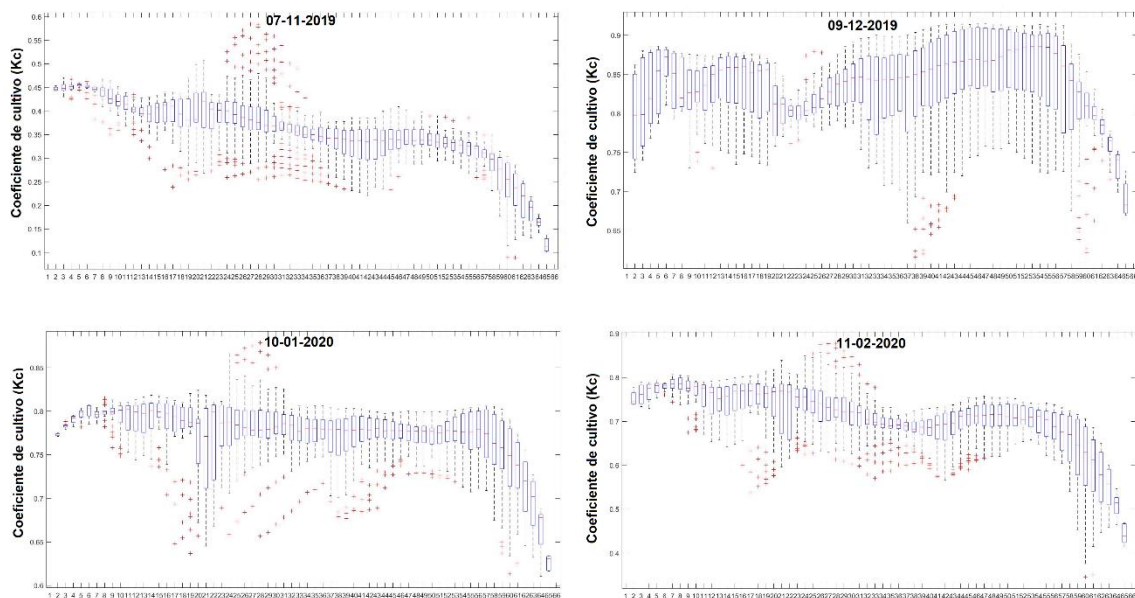


Figura 189. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “13”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

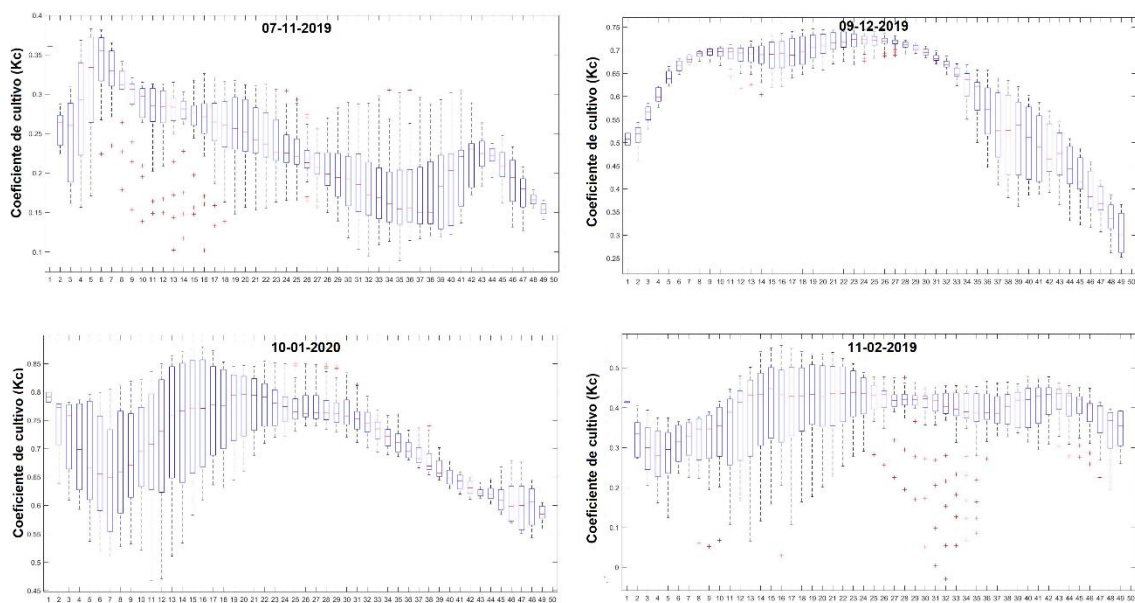


Figura 190. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “14”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

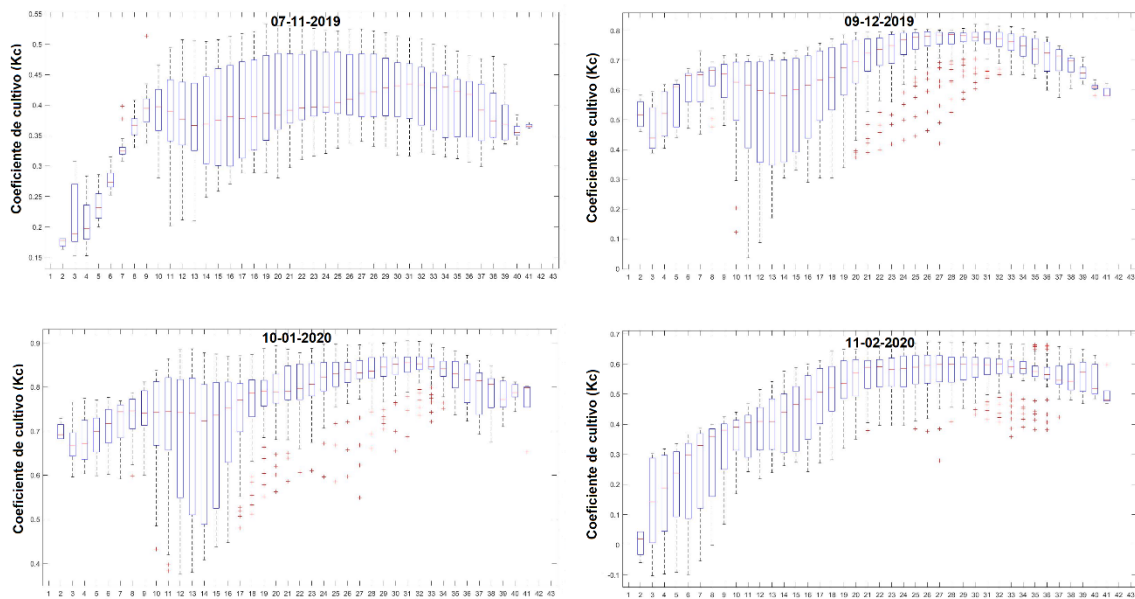


Figura 191. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “15”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

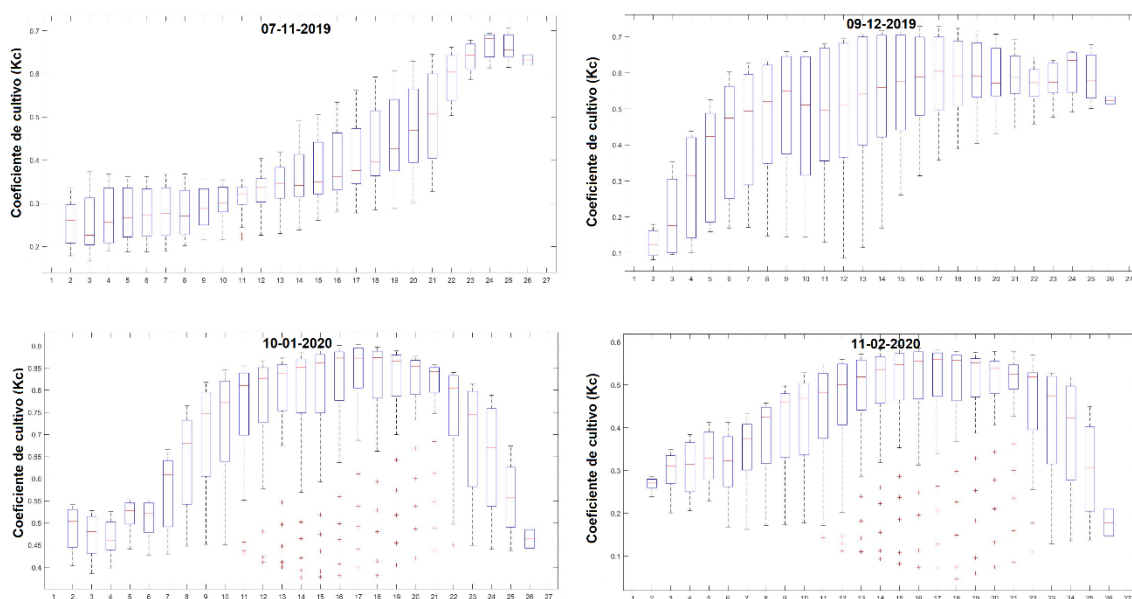


Figura 192. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote "16", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

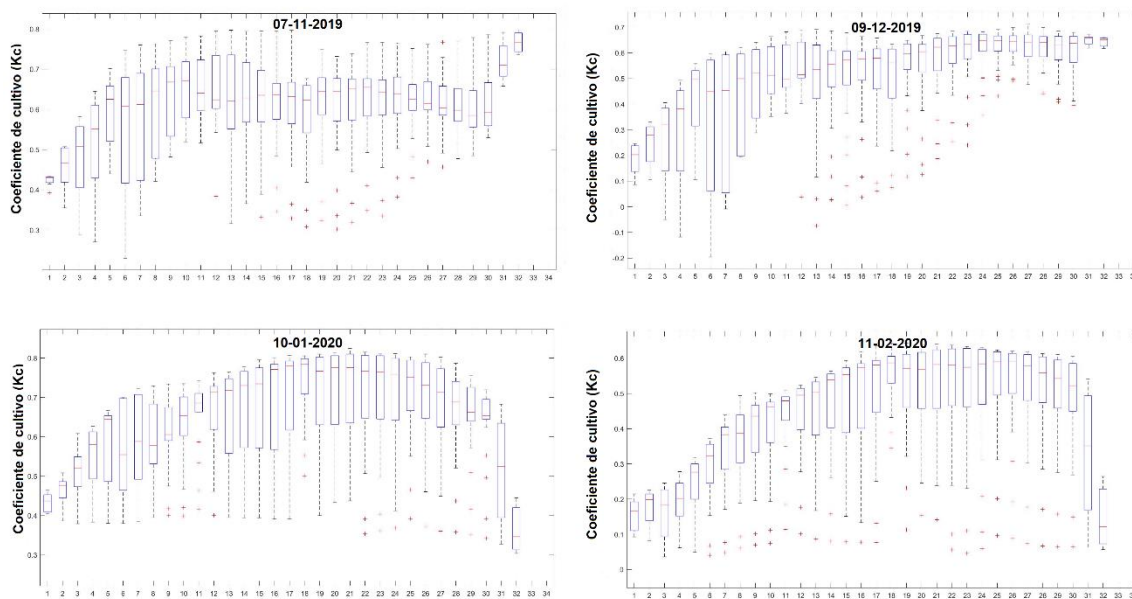


Figura 193. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote "17", obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

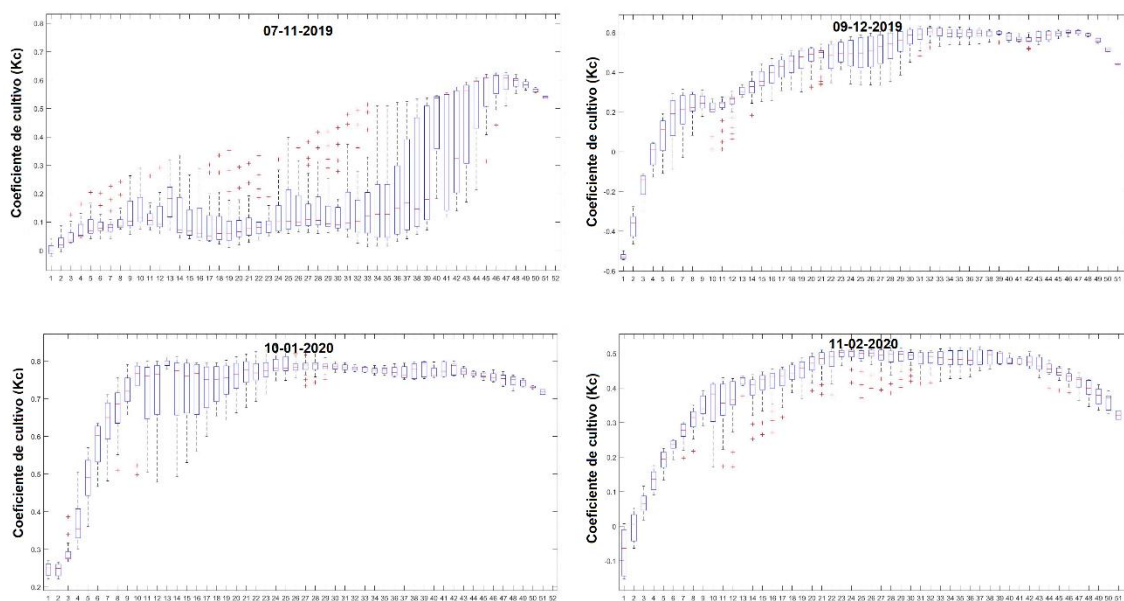


Figura 194. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “18”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

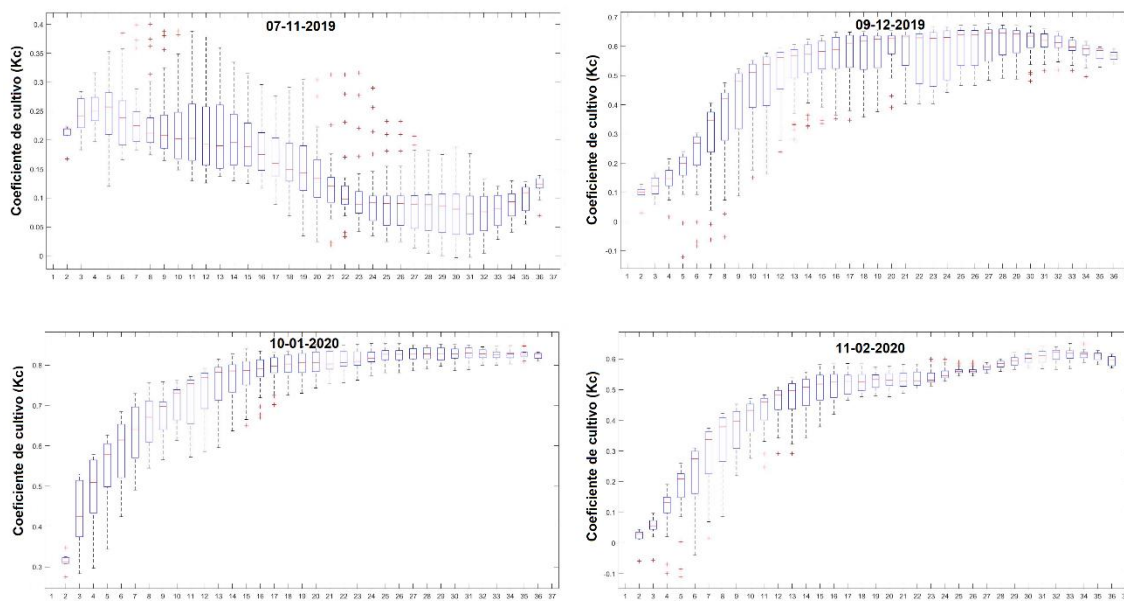


Figura 195. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “19”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

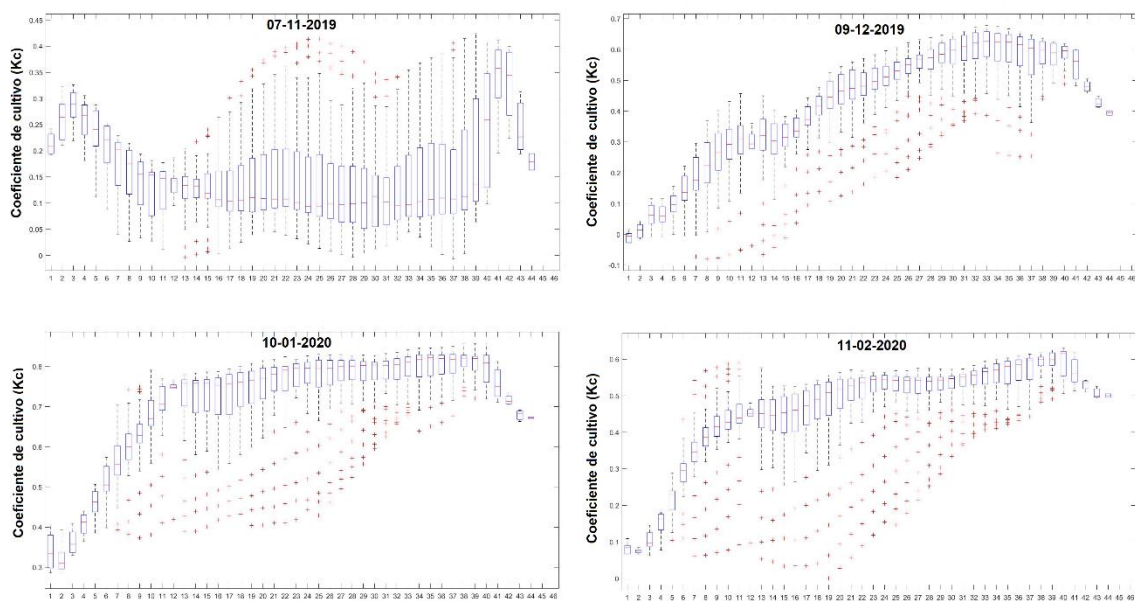


Figura 196. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “20”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

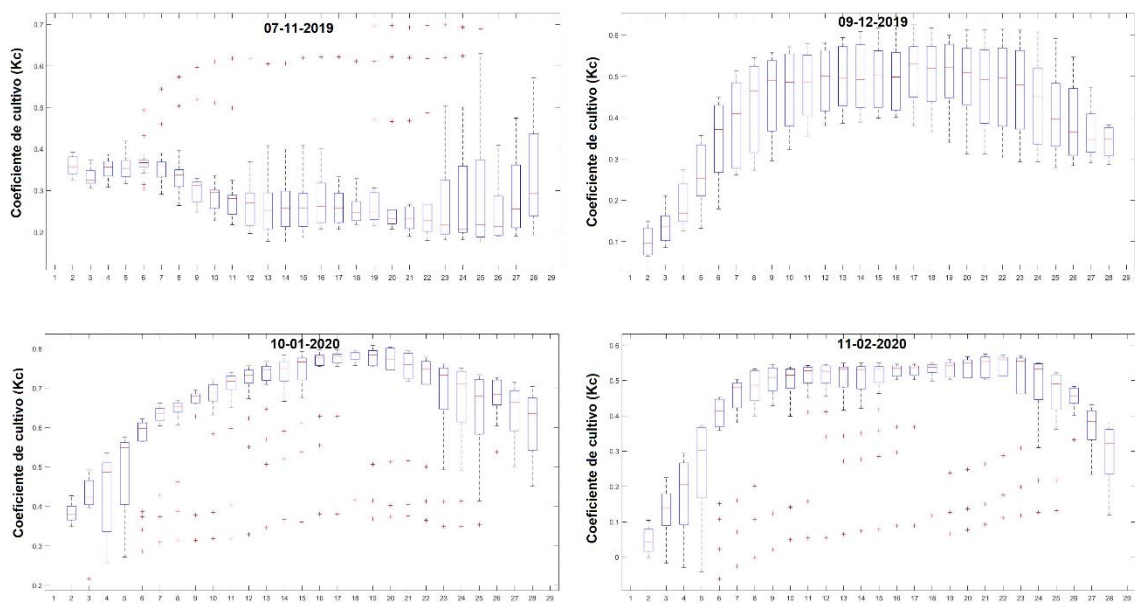


Figura 197. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “21”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

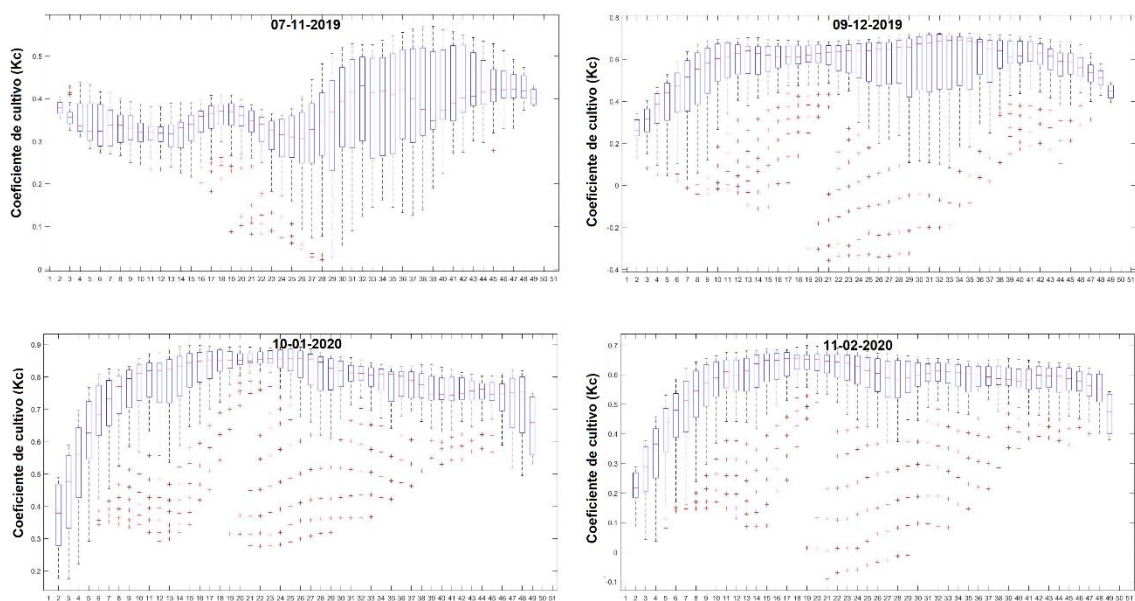


Figura 198. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “22”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

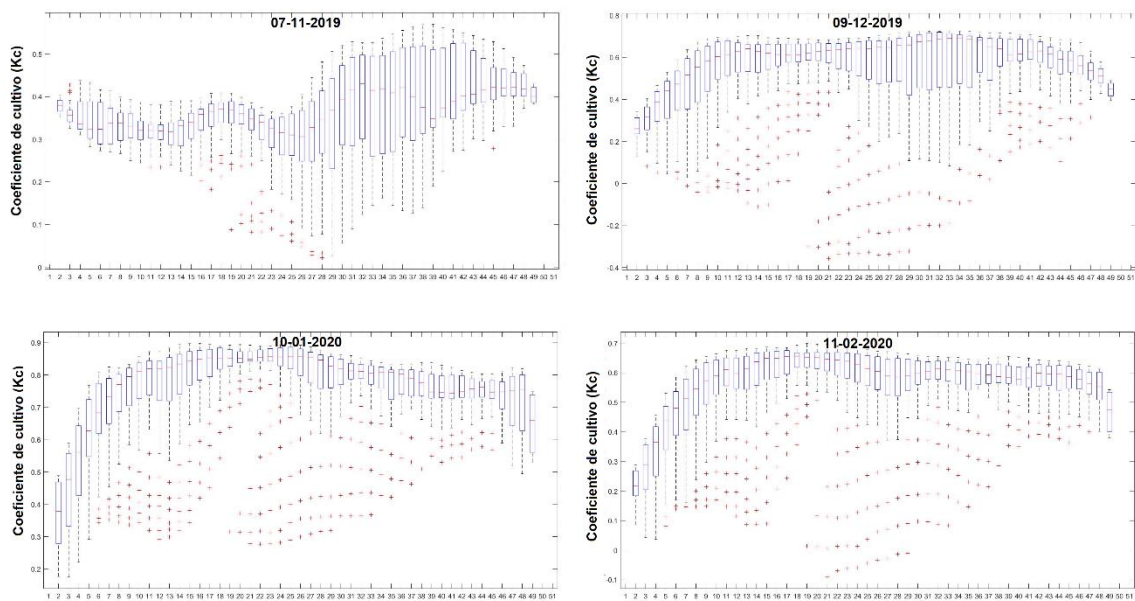


Figura 199. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “23”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

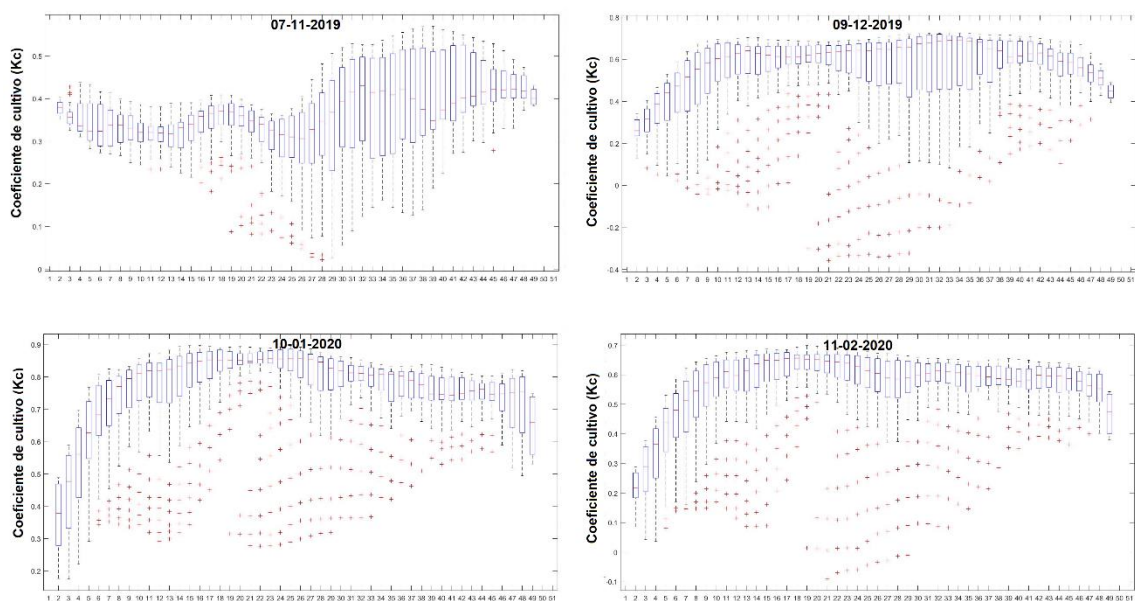


Figura 200. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “24”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

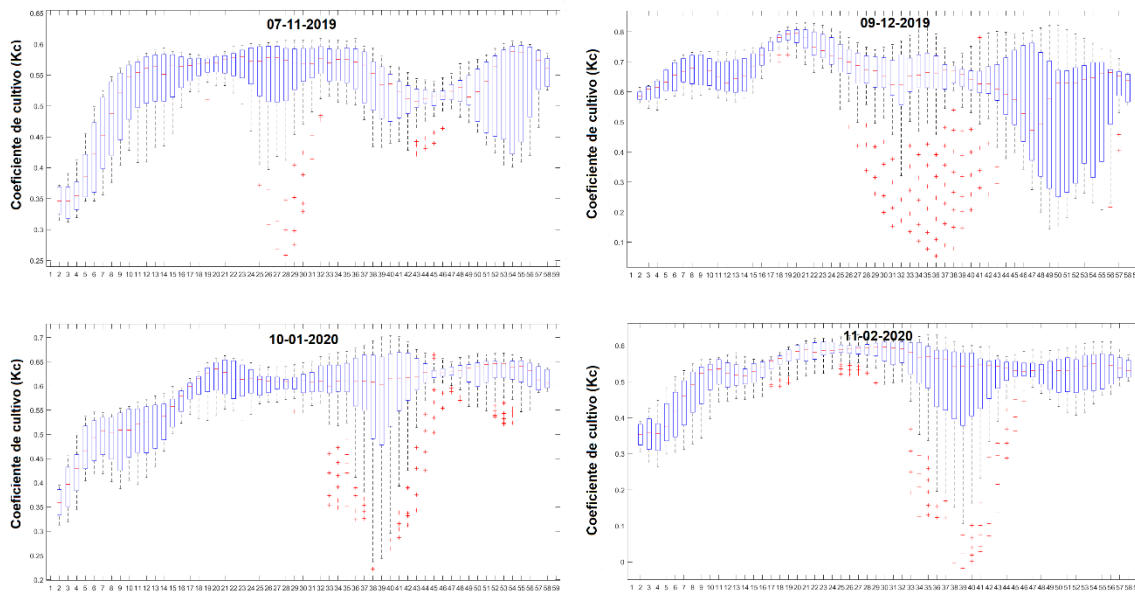


Figura 201. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “25”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

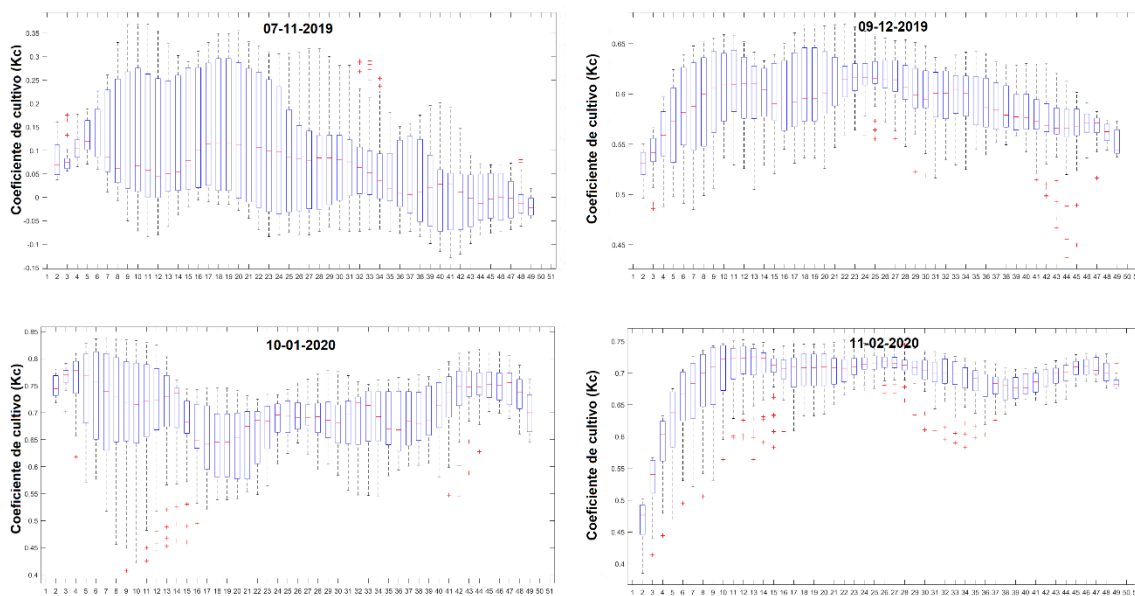


Figura 202. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “26”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

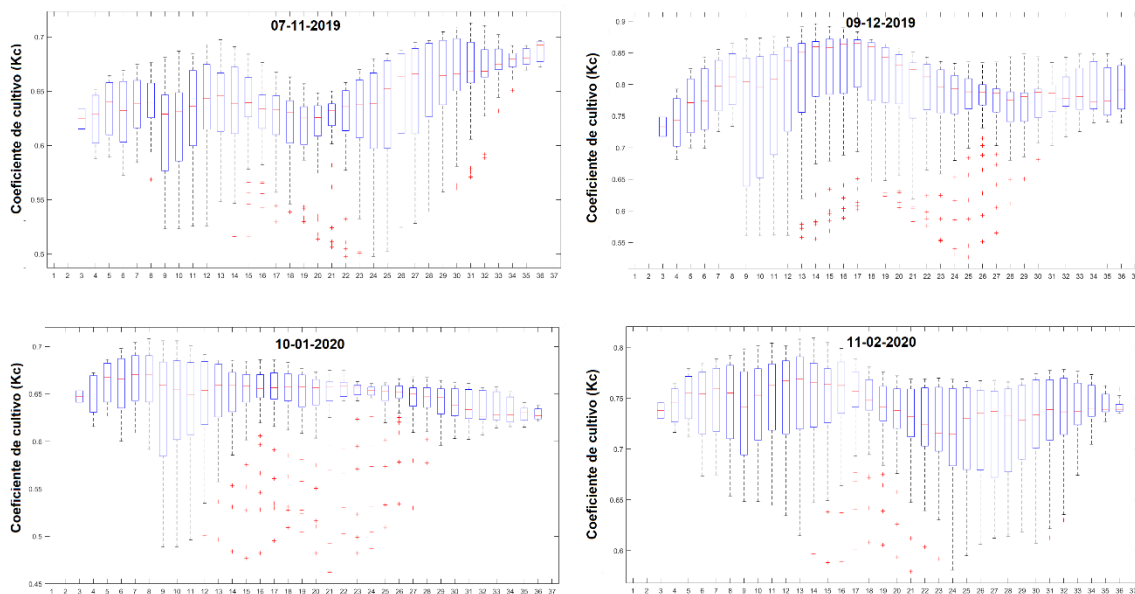


Figura 203. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “27”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

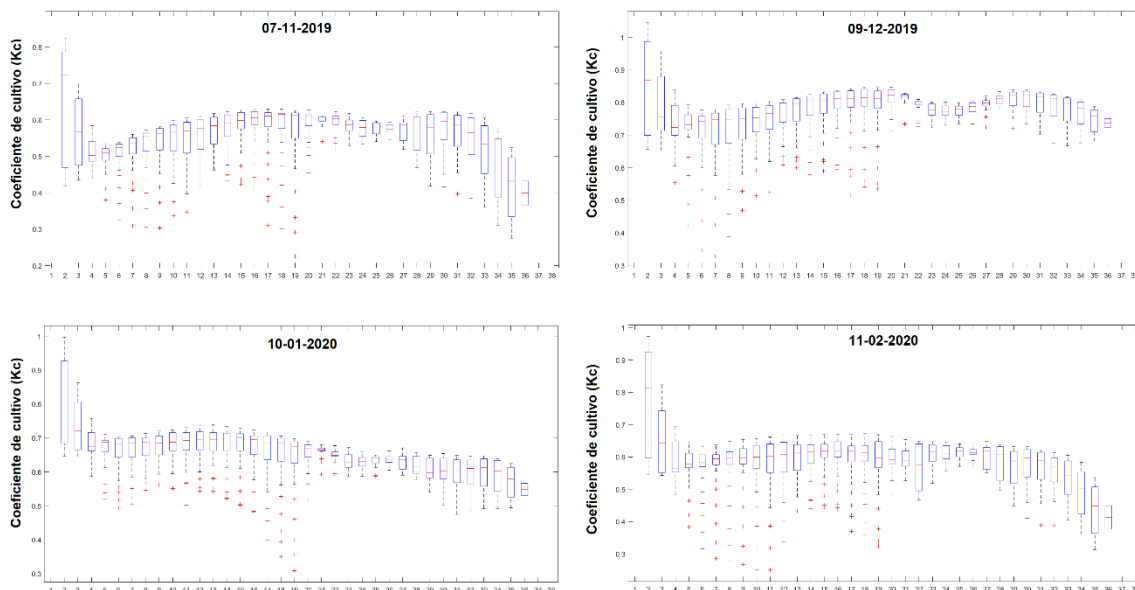


Figura 204. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “28”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

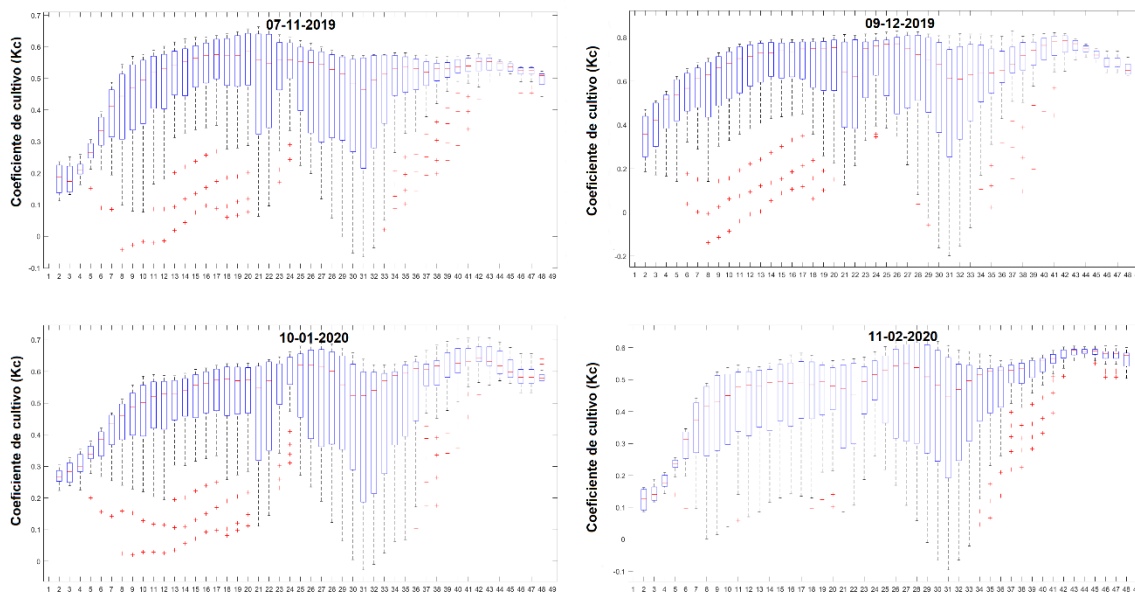


Figura 205. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (K_c actual) en pivote “29”, obtenidos mediante

AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

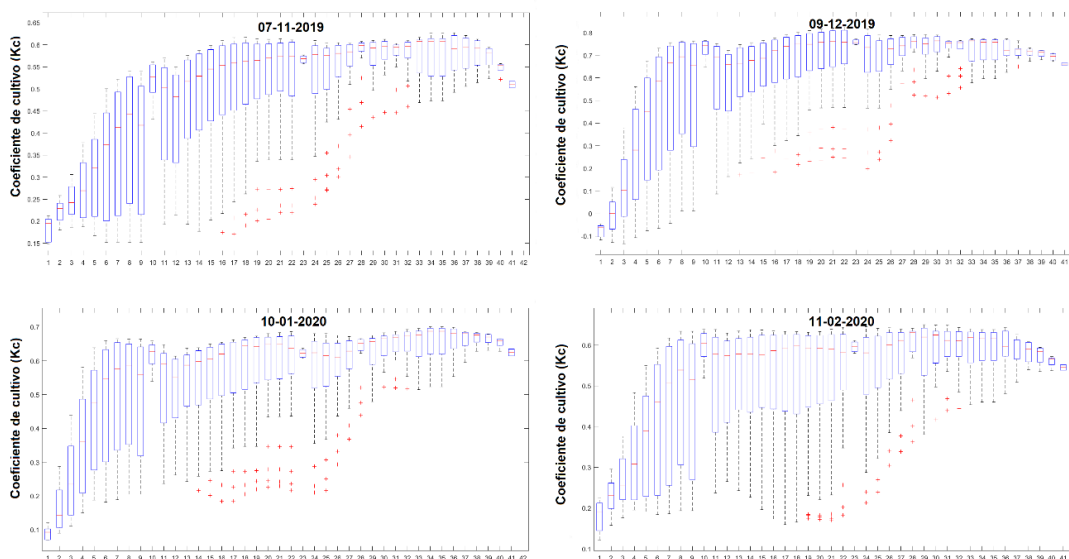


Figura 206. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “30”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.

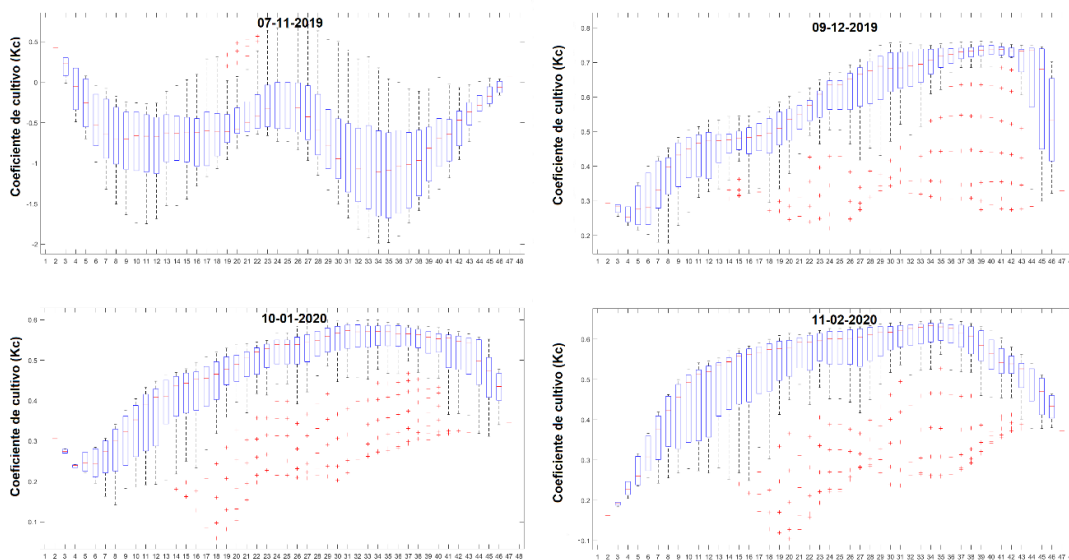


Figura 207. Gráfico de caja (Box plot) del coeficiente de cultivo actual de remolacha azucarera (Kc actual) en pivote “31”, obtenidos mediante AQUASAT en los meses de noviembre-2019 a febrero-2020. Fuente: Elaboración propia.