

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS**



**Estimación del índice de vegetación y clorofila del frijol  
(*Phaseolus vulgaris*) a partir de la reflectancia medida con el  
espectroradiómetro Fieldspec4, durante su crecimiento.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO - MATEMÁTICAS  
EN LA ESPECIALIDAD DE FÍSICA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CORONADO QUICAÑO, Germán Diego**

**ASESOR:**

**Lic. MONCADA SOSA, Wilmer Enrique**

**AYACUCHO – PERÚ**

**2021**



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 013-2022-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 014-2022-FIMGC-D**, siendo los diecinueve días del mes de enero del 2022, a horas 11.00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el Presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Lic. Leónidas ESPINOZA CÁCERES**, Jurado el **Lic. Noel TORRES HUARIPAUCAR**, Jurado – Asesor el **Mg. Wilmer MONCADA SOSA** y Secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada “**ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y CLOROFILA DEL FRIJOL (PHASEOLUS VULGARIS) A PARTIR DE LA REFLECTANCIA MEDIDA CON EL ESPECTRORADIÓMETRO FIELDSPEC4, DURANTE SU CRECIMIENTO**”, sustentado por el Señor **Germán Diego CORONADO QUICAÑO**, Bachiller en **Ciencias Físico Matemáticas**

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por  
Dr. Ing. Efraín Elías Porras  
Flores  
Fecha: 2022.01.31 07:42:12  
-05'00'

**Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**  
Presidente

**Lic. Leónidas ESPINOZA CÁCERES**  
Jurado

Firmado digitalmente por  
MONCADA SOSA WILMER  
ENRIQUE  
Fecha: 2022.01.19  
19:03:03 -05'00'

**Mg. Wilmer MONCADA SOSA**  
Jurado Asesor

**Lic. Noel TORRES HUARIPAUCAR**  
Jurado

Firmado  
digitalmente por  
LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Secretario del Proceso

c.c.:  
Bach. Germán Diego CORONADO QUICAÑO,  
Jurados (4)  
Archivo



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH y Resolución Decanal N° 158-2021-FIMGC-UNSCH-D, deja constancia que Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : CORONADO QUICAÑO, Germán Diego  
**Escuela Profesional** : CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS  
**Título de la Tesis** : ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y CLOROFILA DEL FRIJOL (PHASEOLUS VULGARIS) A PARTIR DE LA REFLECTANCIA MEDIDA CON EL ESPECTRORADIÓMETRO FIELDSPEC4, DURANTE SU CRECIMIENTO.  
**Evaluación de la Originalidad** : 09 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 1742585505

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 16 de enero del 2022

Firmado digitalmente  
por LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
de la FIMGC

Numero de constancia: **009-2022-FIMGC.**

**( X )** Con depósito para Sustentación y Tramite de Titulo

# ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y CLOROFILA DEL FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS*) A PARTIR DE LA REFLECTANCIA MEDIDA CON EL ESPECTRORADIÓMETRO FIELDSPEC4, DURANTE SU CRECIMIENTO

*por* Germán Diego Coronado Quicaño

---

**Fecha de entrega:** 16-ene-2022 04:34p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1742585505

**Nombre del archivo:** Tesis\_CORONADO\_QUICA\_O,\_Germ\_n\_Diego\_FISMA.pdf (6.96M)

**Total de palabras:** 36153

**Total de caracteres:** 175657

# ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y CLOROFILA DEL FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS*) A PARTIR DE LA REFLECTANCIA MEDIDA CON EL ESPECTRORADIÓMETRO FIELDSPEC4, DURANTE SU CRECIMIENTO

## INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

ÍNDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	2%
2	Inmaculada Romero Gil. "Comportamiento de Nutrientes en la Pluma del Río Ebro", Universitat Politecnica de Valencia, 2004 Publicación	1%
3	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://scielo.conicyt.cl">scielo.conicyt.cl</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://digital.csic.es">digital.csic.es</a> Fuente de Internet	1%

8	<a href="http://bibliotecadgyt.uns.edu.ar">bibliotecadgyt.uns.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
9	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://www.mappinginteractivo.com">www.mappinginteractivo.com</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	C. Aldana, M. Revilla, J. Gonzales, Y. Saavedra, W. Moncada, J. Maicelo. "Relación de firmas espectrales para la identificación de bosque seco en imágenes de satélite Sentinel 2, cuenca baja del río Chira, Región Piura", <i>Revista de Teledetección</i> , 2020 Publicación	<1 %
13	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.une.edu.pe">repositorio.une.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

*A mis padres por darme su apoyo incondicional y estar siempre conmigo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la fuerza de seguir siempre adelante en momentos críticos.

Al profesor Walter Mario Solano Reynoso, Renato Soca Flores y Noel Torres Huaripaucar que me incentivaron seguir esta línea de investigación.

Al profesor Wilmer Enrique Moncada Sosa, gracias a su gran corazón y paciencia por apoyarme en esta etapa de trabajo de investigación.

Al ingeniero Alex Lázaro Tineo Bermúdez, por su disponibilidad en la enseñanza sobre los tipos de abonos aplicados en este trabajo de investigación.

A mi querida novia Jackeline García, por la comprensión y amor incondicional de todos los días.

A mi amigo Michael, que desde inicio tuvimos las ganas de terminar nuestros trabajos de tesis.



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Índice .....	iv
Índice de tablas .....	vi
Índice de figuras.....	vii
Lista de acrónimos .....	xxi
Resumen.....	xxii
Abstract.....	xxiii
Introducción .....	1
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1. Descripción de la situación problemática .....	2
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos .....	3
1.3. Formulación de objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Justificación (teórica, práctica y metodológica) .....	4
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes .....	5
2.2. Bases teóricas .....	8
2.3. Bases conceptuales.....	11
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>13</b>
3.1. Formulación de hipótesis .....	13
3.1.1. Hipótesis general.....	13
3.1.2. Hipótesis específicas .....	13
3.2. Variables .....	14
3.3. Operacionalización de variables .....	15
3.4. Tipo y nivel de investigación .....	16

3.4.1. Tipo de investigación .....	16
3.4.2. Nivel de investigación.....	16
3.5. Métodos de investigación.....	16
3.6. Diseño de investigación .....	16
3.7. Población y muestra .....	17
3.7.1. Población.....	17
3.7.2. Muestra.....	17
3.8. Técnicas e instrumentos .....	17
3.8.1. Técnica .....	17
3.8.2. Instrumento .....	19
3.9. Validez y confiabilidad de instrumentos.....	19
3.10. Técnicas de procesamiento de datos .....	19
3.11. Aspectos éticos.....	20
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>21</b>
4.1. Determinación de las firmas espectrales del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) durante las distintas etapas de crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4.....	21
4.2. Estimación del índice de clorofila del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), a partir de los valores de reflectancia de las firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento.....	75
4.3. Estimación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) a partir de los valores de reflectancia de las firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento .....	91
4.4. Correlación entre el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con respecto al índice de clorofila del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), en sus distintas etapas de crecimiento .....	107
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>157</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>158</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>159</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>161</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 3.1. Etiquetas de los bloques para la toma de datos del cultivo de frijol .....	18
Tabla 3.2. Etiquetas de los bloques para la toma de datos del cultivo de frijol .....	18
Tabla 4.1. Valores máximos y mínimos del ICM, NDVI y correlaciones en los cuatro bloques de cultivo Sin Rhizobium .....	155
Tabla 4.2. Valores máximos y mínimos del ICM, NDVI y correlaciones en los cuatro bloques de cultivo Con Rhizobium .....	156

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2.1.</b> Curva de reflectividad de la vegetación (Adaptado: de (Soca, 2017)).....	9
<b>Figura 2.2.</b> Espectroradiómetro Field Spec 4 del Laboratorio de Teledetección y Energías Renovables (Fuente: <a href="https://www.asdi.com/">https://www.asdi.com/</a> ).....	10
<b>Figura 3.1.</b> Esquema de la distribución del cultivo de frijol, con rhizobium y sin rhizobium en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	17
<b>Figura 3.2.</b> Recolección de datos del cultivo de frijol, con rhizobium y sin rhizobium en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	19
<b>Figura 4.1.1</b> Firmas espectrales de la parcela I-1-CR durante las 13 semanas de crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	23
<b>Figura 4.1.2</b> Firmas espectrales de la parcela I-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	24
<b>Figura 4.1.3</b> Firmas espectrales de la parcela I-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	26
<b>Figura 4.1.4</b> Firmas espectrales de la parcela I-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	28
<b>Figura 4.1.5</b> Firmas espectrales de la parcela I-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	29
<b>Figura 4.1.6</b> Firmas espectrales de la parcela I-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	31
<b>Figura 4.1.7</b> Firmas espectrales de la parcela I-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	33
<b>Figura 4.1.8</b> Firmas espectrales de la parcela I-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	34
<b>Figura 4.1.9</b> Firmas espectrales de la parcela II-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	36
<b>Figura 4.1.10</b> Firmas espectrales de la parcela II-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	38

<b>Figura 4.1.11</b>	Firmas espectrales de la parcela II-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	39
<b>Figura 4.1.12</b>	Firmas espectrales de la parcela II-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	41
<b>Figura 4.1.13</b>	Firmas espectrales de la parcela II-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	43
<b>Figura 4.1.14</b>	Firmas espectrales de la parcela II-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	44
<b>Figura 4.1.15</b>	Firmas espectrales de la parcela II-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	46
<b>Figura 4.1.16</b>	Firmas espectrales de la parcela II-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	48
<b>Figura 4.1.17</b>	Firmas espectrales de la parcela III-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	49
<b>Figura 4.1.18</b>	Firmas espectrales de la parcela III-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	51
<b>Figura 4.1.19</b>	Firmas espectrales de la parcela III-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	53
<b>Figura 4.1.20</b>	Firmas espectrales de la parcela III-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	54
<b>Figura 4.1.21</b>	Firmas espectrales de la parcela III-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	56
<b>Figura 4.1.22</b>	Firmas espectrales de la parcela III-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	58
<b>Figura 4.1.23</b>	Firmas espectrales de la parcela III-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	59
<b>Figura 4.1.24</b>	Firmas espectrales de la parcela III-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	61

<b>Figura 4.1.25</b>	Firmas espectrales de la parcela IV-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	63
<b>Figura 4.1.26</b>	Firmas espectrales de la parcela IV-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	64
<b>Figura 4.1.27</b>	Firmas espectrales de la parcela IV-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	66
<b>Figura 4.1.28</b>	Firmas espectrales de la parcela IV-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	68
<b>Figura 4.1.29</b>	Firmas espectrales de la parcela IV-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	69
<b>Figura 4.1.30</b>	Firmas espectrales de la parcela IV-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	71
<b>Figura 4.1.31</b>	Firmas espectrales de la parcela IV-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	73
<b>Figura 4.1.32</b>	Firmas espectrales de la parcela IV-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	74
<b>Figura 4.2.1</b>	Índice de clorofila de la parcela I-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	75
<b>Figura 4.2.2</b>	Índice de clorofila de la parcela I-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	75
<b>Figura 4.2.3</b>	Índice de clorofila de la parcela I-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	76
<b>Figura 4.2.4</b>	Índice de clorofila de la parcela I-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	76
<b>Figura 4.2.5</b>	Índice de clorofila de la parcela I-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	77
<b>Figura 4.2.6</b>	Índice de clorofila de la parcela I-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	77

<b>Figura 4.2.7</b>	Índice de clorofila de la parcela I-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	78
<b>Figura 4.2.8</b>	Índice de clorofila de la parcela I-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	78
<b>Figura 4.2.9</b>	Índice de clorofila de la parcela II-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	79
<b>Figura 4.2.10</b>	Índice de clorofila de la parcela II-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	79
<b>Figura 4.2.11</b>	Índice de clorofila de la parcela II-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	80
<b>Figura 4.2.12</b>	Índice de clorofila de la parcela II-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	80
<b>Figura 4.2.13</b>	Índice de clorofila de la parcela II-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	81
<b>Figura 4.2.14</b>	Índice de clorofila de la parcela II-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	81
<b>Figura 4.2.15</b>	Índice de clorofila de la parcela II-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	82
<b>Figura 4.2.16</b>	Índice de clorofila de la parcela II-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	82
<b>Figura 4.2.17</b>	Índice de clorofila de la parcela III-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	83
<b>Figura 4.2.18</b>	Índice de clorofila de la parcela III-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	83
<b>Figura 4.2.19</b>	Índice de clorofila de la parcela III-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	84
<b>Figura 4.2.20</b>	Índice de clorofila de la parcela III-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	84

<b>Figura 4.2.21</b>	Índice de clorofila de la parcela III-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	85
<b>Figura 4.2.22</b>	Índice de clorofila de la parcela III-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	85
<b>Figura 4.2.23</b>	Índice de clorofila de la parcela III-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	86
<b>Figura 4.2.24</b>	Índice de clorofila de la parcela III-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	86
<b>Figura 4.2.25</b>	Índice de clorofila de la parcela IV-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	87
<b>Figura 4.2.26</b>	Índice de clorofila de la parcela IV-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	87
<b>Figura 4.2.27</b>	Índice de clorofila de la parcela IV-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	88
<b>Figura 4.2.28</b>	Índice de clorofila de la parcela IV-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	88
<b>Figura 4.2.29</b>	Índice de clorofila de la parcela IV-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	89
<b>Figura 4.2.30</b>	Índice de clorofila de la parcela IV-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	89
<b>Figura 4.2.31</b>	Índice de clorofila de la parcela IV-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	90
<b>Figura 4.2.32</b>	Índice de clorofila de la parcela IV-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	90
<b>Figura 4.3.1</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	91
<b>Figura 4.3.2</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	91



<b>Figura 4.3.3</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	92
<b>Figura 4.3.4</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	92
<b>Figura 4.3.5</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	93
<b>Figura 4.3.6</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	93
<b>Figura 4.3.7</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	94
<b>Figura 4.3.8</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	94
<b>Figura 4.3.9</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	95
<b>Figura 4.3.10</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	95
<b>Figura 4.3.11</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	96
<b>Figura 4.3.12</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	96
<b>Figura 4.3.13</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	97

<b>Figura 4.3.14</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	97
<b>Figura 4.3.15</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	98
<b>Figura 4.3.17</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	98
<b>Figura 4.3.18</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	99
<b>Figura 4.3.19</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	99
<b>Figura 4.3.20</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	100
<b>Figura 4.3.21</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	101
<b>Figura 4.3.22</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	101
<b>Figura 4.3.23</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	102
<b>Figura 4.3.24</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	102
<b>Figura 4.3.25</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	103

<b>Figura 4.3.26</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	103
<b>Figura 4.3.27</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	103
<b>Figura 4.3.28</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	104
<b>Figura 4.3.29</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	104
<b>Figura 4.3.30</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	105
<b>Figura 4.3.31</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	106
<b>Figura 4.3.32</b>	Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga. ....	106
<b>Figura 4.4.1.</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-1-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	107
<b>Figura 4.4.2</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-1-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	108
<b>Figura 4.4.3</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-1-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	109
<b>Figura 4.4.4</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-1-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	109

<b>Figura 4.4.5</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-2-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	110
<b>Figura 4.4.6</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-2-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	111
<b>Figura 4.4.7</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-2-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	112
<b>Figura 4.4.8</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-2-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	112
<b>Figura 4.4.9</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-3-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	113
<b>Figura 4.4.10</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-3-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	114
<b>Figura 4.4.11</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-3-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	115
<b>Figura 4.4.12</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-3-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	115
<b>Figura 4.4.13</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-4-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	116
<b>Figura 4.4.14</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-4-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	117
<b>Figura 4.4.15</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-4-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	118

- Figura 4.4.16** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-4-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 118
- Figura 4.4.17** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-1-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 119
- Figura 4.4.18** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-1-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 120
- Figura 4.4.19** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-1-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 121
- Figura 4.4.20** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-1-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 121
- Figura 4.4.21** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-2-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 122
- Figura 4.4.22** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-2-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 123
- Figura 4.4.23** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-2-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 124
- Figura 4.4.24** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-2-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 124
- Figura 4.4.25** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-3-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 125
- Figura 4.4.26** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-3-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. .... 126

<b>Figura 4.4.27</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-3-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	127
<b>Figura 4.4.28</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-3-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	127
<b>Figura 4.4.29</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-4-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	128
<b>Figura 4.4.30</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-4-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	129
<b>Figura 4.4.31</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-4-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	130
<b>Figura 4.4.32</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-4-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	130
<b>Figura 4.4.33</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-1-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	131
<b>Figura 4.4.34</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-1-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	132
<b>Figura 4.4.35</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-1-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	133
<b>Figura 4.4.36</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-1-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	133
<b>Figura 4.4.37</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-2-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el	

	campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	134
<b>Figura 4.4.38</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-2-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	135
<b>Figura 4.4.39</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-2-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	136
<b>Figura 4.4.40</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-2-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	136
<b>Figura 4.4.41</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-3-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	137
<b>Figura 4.4.42</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-3-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	138
<b>Figura 4.4.43</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-3-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	139
<b>Figura 4.4.44</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-3-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	139
<b>Figura 4.4.45</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-4-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	140
<b>Figura 4.4.46</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-4-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	141
<b>Figura 4.4.47</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-4-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	142

<b>Figura 4.4.48</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-4-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	142
<b>Figura 4.4.49</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-1-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	143
<b>Figura 4.4.50</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-1-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	144
<b>Figura 4.4.51</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-1-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	145
<b>Figura 4.4.52</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-1-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	145
<b>Figura 4.4.53</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-2-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	146
<b>Figura 4.4.54</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-2-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	147
<b>Figura 4.4.55</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-2-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	148
<b>Figura 4.4.56</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-2-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	148
<b>Figura 4.4.57</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-3-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.....	149



<b>Figura 4.4.58</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-3-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	150
<b>Figura 4.4.59</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-3-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	151
<b>Figura 4.4.60</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-3-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga .....	151
<b>Figura 4.4.61</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-4-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	152
<b>Figura 4.4.62</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-4-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	153
<b>Figura 4.4.63</b>	Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-4-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	154
<b>Figura 4.4.64</b>	Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-4-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH. ....	154

## LISTA DE ACRÓNIMOS

NDVI	: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.
ICM	: Índice de Clorofila Modificado.
NIR	: Banda Infrarrojo Cercano.
R	: Banda visible Roja.
ICC	: Índice de Contenido de Clorofila.
MLR	: Regresión Lineal Múltiple.
PLSR	: Regresión por Mínimos Cuadrados Parciales.
SEP	: Errores Estándar de Predicción.
DMSO	: Dimetil Sulfoxido.
LAI	: Índice de Área Foliar.
UNSCH	: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

## RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en los campos experimentales de Agronomía-UNSCH, que tiene como propósito Estimar los índices vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), a partir de los valores de reflectancia de su firma espectral con el espectroradiómetro FieldSpec4, durante las 13 semanas de crecimiento en las diferentes parcelas de cultivos de frijol abonados con Rhizobium y sin Rhizobium. Se estimó el índice de clorofila modificado (ICM) a partir del uso de las bandas espectrales verde, rojo y azul. De igual se estimó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), a partir del uso de las bandas espectrales infrarrojo cercano (NIR) y rojo, obteniéndose como resultados la correlación de ambos índices correspondientes al comportamiento de la concentración de clorofila en el cultivo del frijol de las diferentes parcelas en estudio con y sin abono para las 13 semanas de crecimiento. Se espera que los resultados de este estudio permitan comprender el comportamiento del estado fenológico del cultivo de frijol a partir del entendimiento de la concentración de niveles de clorofila durante sus diferentes etapas de crecimiento y su relación con el NDVI, determinados de los valores de reflectancia medida con el espectroradiómetro FieldSpec4, además de contribuir con la generación de un banco de firmas espectrales de especies vegetales.

**Palabras clave:** Firma espectral, Índice de clorofila, NDVI, Frijol.

## ABSTRACT

This research was developed in the experimental fields of Agronomy-UNSCH, whose purpose is to estimate the normalized difference vegetation (NDVI) and chlorophyll indices of the bean (*Phaseolus vulgaris*), from the reflectance values of its spectral signature with the FieldSpec4 spectroradiometer, during the 13 weeks of growth in the different plots of bean crops fertilized with Rhizobium and without Rhizobium. The chlorophyll index (ICM) was estimated from the use of the green, red and blue spectral bands. Similarly, the normalized difference vegetation index (NDVI) was estimated, from the use of the near infrared (NIR) and red spectral bands, obtaining as results the correlation of both indices corresponding to the behavior of the chlorophyll concentration in the crop. of beans from the different plots under study with and without fertilizer for the 13 weeks of growth. This research work is one of the first of this nature, it is expected to contribute with new methodologies through the analysis of spectral signatures applied to future research in different plants or study objects, with the use and management of the FieldSpec4 spectroradiometer.

**Keywords:** Spectral signature, Chlorophyll index, NDVI, Bean.

## INTRODUCCIÓN

En años recientes el campo de la teledetección aplicada a la agricultura ha hecho progresos en el desarrollo de métodos que relacionen los datos físicos registrados mediante sensores remotos y espectroradiómetro con un número de parámetros biológicos propios de las comunidades vegetales. A partir de parámetros físicos tales como la absorbancia y reflectancia de la energía radiante que interactúa con los tejidos vegetales en las plantas, se puede obtener información de variables biológicas tales como el índice de área foliar (LAI), la tasa fotosintética de las hojas, el estrés hídrico, nivel de clorofila, índice de vegetación normalizada (NDVI), etc.

Actualmente la aplicación principal de las firmas espectrales se encuentra en el campo de coberturas vegetales, como en la caracterización de cultivos, estado vegetativo y de salud de los mismos. Sin embargo, hay estudios especializados como el estudio del mar (contaminación del mar), minería, etc.

La provincia de Huamanga, Ciudad Universitaria, UNSCH, está ubicada en la región de Ayacucho, es una zona de poca vegetación que con el paso del tiempo ha sufrido cambios. Por tal razón, para poder detectar algunos cambios en las firmas espectrales del frijol y algunas especies vegetales en esta zona, utilizaremos el espectroradiómetro "FIELDSPEC4" del laboratorio de teledetección-UNSCH; que mediante la detección de anomalías con el software del FieldSpec4, al hacer las pruebas con estas especies vegetales, podremos decir que se encuentra vegetales con altos o bajos índices de clorofila, índices de vegetación si hay alguna anomalía en la zona de estudio.

El resultado de este estudio contribuirá a tener un banco de datos de firmas espectrales de especies vegetales de la provincia de Huamanga para ser usado como referencia para futuras investigaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción de la situación problemática**

En los últimos años, se observa una acentuada frecuencia de disminución de ecosistemas de vegetales a nivel mundial, en campos de cultivos, selvas amazónicas debido a la contaminación ambiental y variabilidad de la intensidad de lluvias e incremento en la temperatura máxima, repercutiendo directamente en la vegetación y en la sostenibilidad de la humedad del suelo, los que a su vez impactan negativamente sobre la calidad de suelo (erosión hídrica y de suelos, degradación, pérdida de vegetación) (Pereda, Moncada y verde, 2018). Por ello, la necesidad de descubrir nuevas metodologías que impulsen el uso de la tecnología espacial o sensoramiento remoto y manejo de espectroradiómetro que está en continua evolución, para hacer posible replantear modelos ya existentes y su mejora, proponiendo otros modelos de mejor funcionalidad.

En el marco de seguridad alimentaria, los frijoles son una parte importante de la dieta latinoamericana debido a su alto contenido en proteínas y carbohidratos, en contextos actuales la mayoría de los cultivos en el Perú, ubicados en los valles interandinos el cultivo de leguminosas, son afectados en su producción por diversos tipos de enfermedades, y el cultivo de frijol no es ajeno a dichos enfermedades, además limitado o condicionado por factores ambientales, de manejo, tipos de suelo y de escasez del líquido elemento. A esto sumado las enfermedades del fríjol conocida como fusariosis, marchitamiento o amarillamiento causada por el hongo.

Para poder ayudar en el monitoreo, tratamiento de enfermedades y aumentar la producción del cultivo existen técnicas para obtener información de las firmas espectrales en los distintos longitud de onda de la reflectancia de las hojas del frijol, poco conocidos y aplicado en nuestra institución y región.

La reflexión de las plantas puede permitir que los equipos de detección remota, como espectroradiómetro con sensores y filtros en las longitudes de onda adecuadas, obtengan información sobre el estado vegetativo de grandes áreas de cultivo de una manera rentable, rápida y eficiente (Loayza, 2012). Estudiar el postratamiento con el espectroradiómetro FieldSpec4 puede ayudar a monitorear áreas bajo ciertos tipos de estrés, como la deficiencia de agua, lo que reduce la concentración de pigmentos como la clorofila, lo que a su vez ayudará a los agricultores a identificar y dirigir sus recursos al área local de su cultivo.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿En qué medida el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), se estima a partir de los valores de reflectancia de la firma espectral medida con el espectroradiómetro FieldSpec4, en distintas etapas de crecimiento?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las firmas espectrales del frijol (*Phaseolus vulgaris*) durante distintas etapas de su crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4?
- ¿En qué medida el índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), se estima a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en distintas etapas de crecimiento?
- ¿En qué medida el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (*Phaseolus vulgaris*) se estima a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento?
- ¿Cómo es la correlación entre el índice de clorofila con respecto al índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (*Phaseolus vulgaris*), en sus distintas etapas de crecimiento?

## **1.3. Formulación de objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Estimar los índices vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), a partir de los valores de reflectancia de su firma espectral con el espectroradiómetro FieldSpec4, en distintas etapas de crecimiento.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las firmas espectrales del frijol (*Phaseolus vulgaris*) durante las distintas etapas de crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4.
- Estimar el índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en distintas etapas de crecimiento.
- Estimar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (*Phaseolus vulgaris*) a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento.
- Correlacionar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con respecto al índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), en sus distintas etapas de crecimiento.

### **1.4. Justificación (teórica, práctica y metodológica)**

Las firmas espectrales de las especies vegetales que brindan información importante sobre las características de la salud de las plantas, como la absorción de radiación en el rango espectral responsable de la fotosíntesis, se pueden medir como índice de vegetación, nivel de biomasa, índice de área foliar y capacidad de absorción de agua, etc. Un análisis de las firmas espectrales de vegetales nos permitirá implementar un banco de datos de las especies estudiadas para así utilizarlas en agricultura, percepción remota, datos satelitales, etc.

Este trabajo espera contribuir a los estudios de teledetección asociados al uso de herramientas como el espectroradiómetro en la detección y seguimiento del comportamiento del agua, el suelo y la vegetación en condiciones de cambio climático, como parte del nuevo perfil del egresado de Física de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas, siendo la tesis de licenciatura de esta naturaleza, para motivar trabajos futuros que posibiliten aplicaciones de carácter tecnológico y la sostenibilidad del medio ambiente.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

En el trabajo de J.R. Thomas and H.W Gausman, “Reflectancia de la hoja frente a clorofila de la hoja y concentraciones de carotenoides para ocho cultivos”, se pudo observar que la mayor cantidad de clorofila está en la región visible teniendo como objeto de estudio el cultivo de la fruta de melón (*Cucumis melo*), del maíz (*Zea mays*), del algodón (*Gossypium*), del pepino (*Cucumis sativus*), de la lechuga (*Lactuca sativa*) (Thomas y Gausman, 1977).

Otro trabajo de investigación relacionado con el análisis de firmas espectrales en vegetales mediante el uso del espectroradiómetro LI-1800 es el realizado por Loayza, (2012), en el cual tiene por objetivo desarrollar un modelo que calcula la biomasa acumulada en el cultivo de papa, a lo largo de todo su periodo vegetativo a partir de la fotosíntesis de follaje, mediante técnicas no destructivas, para lo cual necesitó datos como la cuantificación de contenidos de clorofila, además del índice de área foliar y del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Loayza, 2012).

Meroni y Colombo (2006), realizaron en su estudio sobre la detección a nivel de hoja de la fluorescencia de clorofila detectada por la luz solar utilizando un espectroradiómetro de resolución subnanometro, que investiga las propiedades a nivel de hoja de la especie *Phaseolus vulgaris*, utilizando un espectroradiómetro de muy alta resolución espectral que permite la detección de campos de luminosidad reflejados y emitidos por la hoja en dos bandas de absorción estrechas a 687 y 760 nm, respectivamente, donde la irradiancia solar es fuertemente reducida debido a la absorción de oxígeno molecular de la atmósfera terrestre. El flujo emitido debido a la fluorescencia de la clorofila fue medido utilizando el principio de profundidad de línea de Fraunhofer mediante el modelado espectral de la señal, aprovechando la alta resolución del espectroradiómetro

se realizó un experimento en dos plantas de frijol en maceta. Uno se mantuvo en buen estado de salud para usarlo como referencia, mientras que el otro tratada con un inhibidor del fotosistema II, donde concluye que, se demostró que, en resumen, el espectro del subnanómetro medido de reflectancia aparente y el enfoque de modelado propuesto reproduce características de fluorescencia que pueden ser analizadas para discernir si las plantas sufren o no de estrés. Por otra parte, la medición de reflectancia espectral permite extraer adicional información útil sobre el estado de transferencia radiativa (Meroni y Colombo, 2006).

La medición indirecta de la clorofila es un método para diagnosticar el nitrógeno en las plantas y su precisión puede verse afectada por el momento en que se toma la lectura, la ubicación del prospecto en la planta y la parte del prospecto en la que se toma la lectura. El objetivo fue evaluar el efecto del tiempo de lectura, la posición terminal del foliolo en las hojas y la porción del foliolo en la estimación indirecta del Índice de contenido de clorofila (ICC) con el uso del clorofilómetro. El experimento se realizó con el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), variedad Ágata, en el municipio de Ituverava, estado de São Paulo, Brasil y constó de 27 tratamientos, en un esquema factorial 3 x 3 x 3 con cuatro repeticiones de 16 plantas cada una, con una distribución aleatoria. Los tratamientos fueron: tres horarios de evaluación (08:00 am, 12:00 pm y 16:00 pm), tres posiciones de foliolos en las hojas (tercera, cuarta y quinta) y tres porciones del foliolo (basal, medio y distal). La evaluación del ICC en las hojas de las plantas de papa debe realizarse en los foliolos de la tercera y cuarta hoja, independientemente de las áreas foliares utilizadas, en el horario de las 08:00 am y a los 60 días después de plantado el cultivo. La cuantificación indirecta de clorofila representa una herramienta confiable con el potencial de orientar el manejo de fertilizantes nitrogenados para cultivos (De Lima Vasconcelos et al., 2014).

Por otro lado, durante la temporada 2009 al 2010 se llevaron a cabo calibraciones del Medidor Portátil de Clorofila (Modelo CCM-200, Opti Sciences, USA), en *Vitis vinifera*, variedades Red Globe y Thompson Seedles. De manera adicional se procedió a comparar este último equipo con el medidor SPAD 502 (Konica Minolta, Osaka, Japan) sobre vides variedad Flame seedles. Los resultados del medidor portátil CCM-200, expresado en unidades CCI, obtenidas mediante lectura de reflectancia de las hojas a ciertas longitudes de onda fueron comparadas mediante un análisis de regresión con la

extracción de clorofila y posterior lectura espectrofotométrica. Los análisis de regresión, para la variedad Thompson Seedless, mostraron un alto coeficiente de determinación ( $r^2 = 0,99$ ), expresándose esta en una ecuación lineal de segundo orden; mientras que para la variedad Red Globe se observó un alto coeficiente de determinación ( $r^2 = 0,93$ ), ajustados también a un polinomio de segundo orden. La comparación entre ambos equipos (Flame Seedless) arrojó un coeficiente de determinación de  $r^2 = 0,95$ , ajustado también a un polinomio de segundo orden. Para una temporada 2010, la evolución del contenido de clorofila en las variedades Flame Seedless y Thompson Seedless fue medida usando el equipo CCM-200. Para ambas variedades, los mayores contenidos se observaron al final de pinta, aunque el mejor momento para estimar el contenido de clorofila corresponde al comienzo de floración. La variabilidad de las mediciones, en diferentes momentos del día y en diferentes posiciones de la hoja en el brote (basal, medio y apical) fue evaluado en Thompson Seedless, siendo significativas solo para la posición de la hoja en el brote. Los resultados sugieren que para calibraciones realizadas sobre distintas variedades y ubicaciones, la utilización de medidores portátiles de clorofila son una alternativa para el monitoreo de clorofila en vides (Callejas et al., 2013).

De manera similar, se utilizó espectroscopía de reflexión del infrarrojo cercano (NIRS) para estimar el contenido de clorofila en muestras de hojas frescas de alfalfa. Las muestras se tomaron tomando folíolos de tres sitios de plantas (base, intermedio y ápice), de dos secciones sucesivas, con un total de 198 muestras de 33 variedades. La clorofila se determinó usando dos métodos de referencia: mediante un aparato portátil de campo y por espectrofotometría posterior a la extracción con dimetil sulfóxido (DMSO), que sirvieron de base para el desarrollo de las calibraciones NIRS. Con ambos métodos, se obtienen intervalos de variación muy amplios, con oscilaciones entre 5,20 a 158,50 para el índice del contenido de clorofila (ICC), medido con el equipo portátil, y 0,39 a 4,60 mg/g para la extraída con DMSO. Para obtener las ecuaciones de calibración a partir del material vegetal fresco, se comparan dos modelos de calibración cuantitativa: regresión lineal múltiple (MLR) y regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR). Los mejores resultados se obtienen con PLSR, aplicando primera derivada como transformación matemática, dando lugar en la validación externa a errores estándar de predicción (SEP) de 12,49 y 0,24 mg/g para el ICC y la clorofila extraída con DMSO (Petisco et al., 2004).

Otro de los trabajos de investigación relacionado con el contenido de clorofila es el de Mark Steele, Anatoly A. Gitelson, Donald Rundquist, que lleva por título traducido al español Estimación no destructiva del contenido de clorofila de la hoja en uvas”. “El objetivo de este estudio fue desarrollar una técnica precisa, eficiente y no destructiva para determinar el contenido total de clorofila de la hoja en las uvas. Se estableció una relación entre el contenido de clorofila y el índice de clorofila del borde rojo, basado en reflectancias en los rangos espectrales del borde rojo (710 a 720 nm) y del infrarrojo cercano (755 a 765 nm) (Steele, Gitelson, y Rundquist, 2008).

En el trabajo de investigación de Xiu-Lian Jin que lleva por título “Estimación de los parámetros agronómicos del trigo utilizando nuevos Índices espectrales”, se pudo observar como la absorción de nitrógeno y el contenido total de clorofila se predijeron utilizando los métodos de índices espectrales (Jin et al., 2013).

El concepto de derivación de datos espectrales fue el primero introducido en la década de 1950, cuando se demostró que tenía muchas ventajas. Sin embargo, la técnica recibió poca atención principalmente debido a la complejidad de generar espectros derivados utilizando UV-Visible temprano. La introducción de las microcomputadoras a finales del año de 1970 hizo generalmente posible utilizar métodos matemáticos para generar espectros derivados de forma rápida, fácil y reproducible. Esto incrementó significativamente el uso de la técnica derivada (Owen, 2000).

El presente estudio de firmas espectrales del frijol en la Ciudad Universitaria UNSCH, provincia de Huamanga, sería uno de los primeros estudios que se realice con el equipo de espectroradiómetro FieldSpec4, en la región Ayacucho; con este tipo de equipo de medición de alta resolución se pretende descubrir la existencia de algunas anomalías en los vegetales según los indicadores, cantidad de clorofila, índice de vegetación de diferencia normalizada, entre otros.

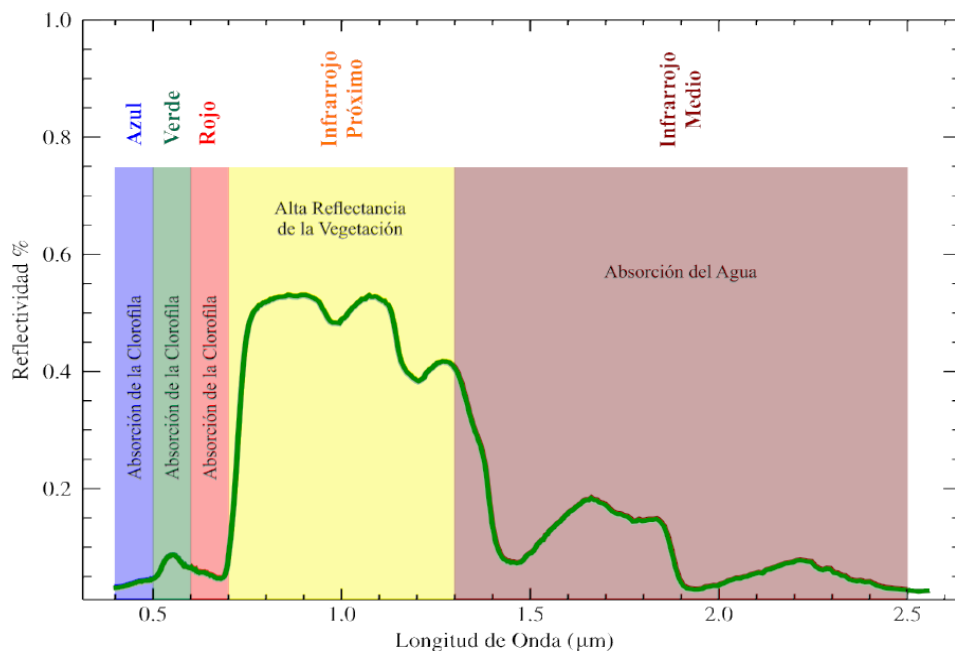
## **2.2. Bases teóricas**

“La superficie de la Tierra está cubierta por un grupo heterogéneo de materia que se distribuye heterogéneamente sobre ella y tiene diversos comportamientos espectrales. Cada sustancia, organismo vivo y su mezcla, refleja y emite energía electromagnética de forma diferente” (Pérez & Muñoz, 2006). En el presente trabajo de investigación se

analizará los parámetros característicos del cultivo de frijol, teniendo en cuenta la región visible, infrarrojo próximo e infrarrojo medio de la firma espectral de un vegetal.

La reflexión se produce en la región visible ( $0.4$  a  $0.7\mu m$ ) y la clorofila absorbe la mayor parte de la radiación. En el infrarrojo cercano ( $0.7$  a  $1.3\mu m$ ), en este intervalo la longitud de onda se absorbe muy poco la radiación incidente. En el infrarrojo medio ( $1.3$  a  $2.5\mu m$ ), esta zona se denomina hídrica ya que en ella las propiedades ópticas de las hojas vienen determinadas principalmente por su contenido de agua (Sobrino, 2000).

La vegetación es uno de los componentes más importantes de un ecosistema y su comportamiento puede proporcionar información importante sobre el clima y sus cambios. La fuente de vida y energía viene a ser la radiación que llega del Sol, donde las plantas a través de la fotosíntesis realizan una función esencial para la vida. Dicha función dependerá de las condiciones ambientales específicas del hábitat de los vegetales y la naturaleza de la especie. El conocimiento de la interacción de la radiación solar con las hojas es de fundamental importancia, deben existir herramientas para determinar esta interacción.



**Figura 2.1.** Curva de reflectividad de la vegetación (Adaptado: de (Soca, 2017)).

“Para el seguimiento de la sanidad vegetal se han definido conceptos conocidos como índices de vegetación, que pueden medirse mediante medidas con equipos como

espectroradiómetro de forma local y remota, utilizando drones o estaciones satelitales que rodean la Tierra. Estos indicadores se utilizan según el tipo de información obtenida y uno de los más utilizados es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)” Liang, (2005).

Otras de las características importantes de la vegetación están relacionadas con la fotosíntesis que, como se sabe, se da en el espectro visible del Sol, que permite obtener información del nivel de clorofila (Jensen, 2014; Main et al., 2011), carotenoides y otros que están relacionadas con las características nutricionales (Tin et al., 2015). Los criterios de la primera y derivadas de mayor orden de la firma espectral (Demetriades-Shah et al., 1990) se puede utilizar para cuantificar el contenido de clorofila y carotenoides (Kochubey & Kazantsev, 2012).

Como se mencionaron en los antecedentes, tanto como en los trabajos de investigación de Hildo Loayza, (2012) y de Owen, (2000), el uso de las derivadas será indispensable para esta investigación, por otro lado en los ambientes del Laboratorio de Teledetección y Energías Renovables (LABTELER) de la UNSCH, se tiene un espectroradiómetro de campo FieldSpec4, es un espectroradiómetro de alta resolución diseñado para una medición más rápida y precisa de datos espectrales y para una amplia gama de aplicaciones agrícolas, de análisis y de teledetección, estudios de nieve y hielo, que puede utilizarse para la recolección de datos de la reflectancia de materiales y, en particular, de especies vegetales (cultivo de frejol). El espectroradiómetro FieldSpec4 proporciona un rendimiento espectral superior a través del espectro de la radiación solar gama completa (350nm a 2500nm) (User Manual FieldSpec4, 2012).



**Figura 2.2.** Espectroradiómetro FieldSpec4 del Laboratorio de Teledetección y Energías Renovables, LABTELER-UNSCH.

## **2.3. Bases conceptuales**

### **2.3.1. Firma espectral**

La firma espectral es un registro fotoeléctrico que representa la propiedad de un material para absorber, reflejar y transmitir el flujo de energía provisto por una fuente emisora. Se utiliza para estudiar la relación entre la reflectancia espectral y la estructura biológica, física, química y atómica de los distintos materiales de la Tierra. En efecto, los organismos fotosintéticos absorben la energía del sol y brindan la condición base para la vida en la Tierra por liberar oxígeno gaseoso, a partir del secuestro de dióxido de carbono. Esta absorción puede ocurrir en la región fotosintéticamente activa (400-700 nm). La vegetación logra absorber la energía solar por un complejo sistema (fotosistemas) formado por distintos pigmentos moleculares y selectivamente utilizan una porción específica de la radiación solar dependiendo de la composición estructural y bioquímica de cada grupo taxonómico, lo que resulta en el patrón característico de la vegetación. Esta firma espectral es una referencia para cada tipo de cobertura del paisaje, que se integran como componentes puros en librerías espectrales para analizar la separabilidad espectral de firmas o bien, para estudiar la relación espectro-píxel en una imagen remota (Ruz & Ignacio, 2015).

La resolución espectral del sensor representa la capacidad de separar señales de diferentes longitudes de onda y se basa en el dispositivo de filtro óptico para separar la radiación incidente en bandas más amplias o espectrales. La resolución espectral se refiere a la cantidad de ancho de banda espectral en el que un sensor registra la radiación. Por lo tanto, cuanto mayor sea el número de bandas y más estrechas sean, mejor será la resolución espectral, mayor será la capacidad del sensor para reproducir la respuesta espectral del objeto observado y, en consecuencia, la capacidad para distinguir unas coberturas de otras (Sobrino, 2000).

### **2.3.2. Índice de clorofila del cultivo de frijol**

Se sabe que el contenido de clorofila se encuentra en la región visible (0.4 a 0.7  $\mu m$ ), donde se produce el reflejo y la mayor parte de la radiación es absorbida por la clorofila, una familia de las clorofilas. Los pigmentos verdes están presentes en las cianobacterias y en todos los organismos que tienen plastos en sus células, incluidas las plantas y varios grupos de protistas llamados algas (Bedoya, 2014).

### 2.3.3. Índice de vegetación diferencia normalizada (NDVI)

Podemos decir que alrededor del 90% de la información sobre plantas está en las bandas roja e infrarroja de la radiación electromagnética reflejada por las plantas, por lo que algunos autores definen el índice de vegetación limitándose a una combinación de estas dos bandas: roja, muy relacionada con contenido de clorofila, índice de área foliar controlada por infrarrojos (LAI) y densidad de vegetación verde (Bannari et al., 1995). El NDVI está definida como la diferencia entre la banda cercano infrarrojo (NIR) y la visible (roja) sobre la suma (Loayza, 2012) y el ICM está representado por:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

$$ICM = \frac{VERDE - R}{(AZUL + R + VERDE)}$$



## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

#### **3.1.1. Hipótesis general**

Los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), se estiman de manera significativa a partir de los valores de reflectancia de su firma espectral con el espectroradiómetro FieldSpec4, en distintas etapas de crecimiento.

#### **3.1.2. Hipótesis específicas**

- Las firmas espectrales del frijol (*Phaseolus vulgaris*) se determinan de manera significativa durante las distintas etapas de crecimiento, cuando se miden con el espectroradiómetro FieldSpec4.
- El índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), se estima de manera significativa a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en distintas etapas de crecimiento.
- El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (*Phaseolus vulgaris*) se estima de manera significativa a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento.
- El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se correlaciona de manera directamente proporcional con respecto al índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), en sus distintas etapas de crecimiento.

### 3.2. VARIABLES

<b>IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES/INDICADORES</b>	
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Reflectancia de la firma espectral</li></ul>	<b>INDICADORES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Longitud de onda.</li><li>• Firma espectral del cultivo de frijol.</li></ul>
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Índice de clorofila y de vegetación de diferencia normalizada.</li></ul>	<b>INDICADORES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Índice de clorofila.</li><li>• Índice de vegetación diferencia normalizado (NDVI).</li></ul>

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Tipo de variable	Escala de Medición	Instrumento
<b>Independiente: Reflectancia de la firma espectral.</b>	La firma espectral es un registro fotoeléctrico que representa la propiedad de un material para absorber, reflejar y transmitir el flujo de energía provisto por una fuente emisora. Se utiliza para estudiar la relación entre la reflectancia espectral y la estructura biológica, física y química de los distintos materiales de la Tierra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luz: onda electromagnética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud de onda</li> <li>• Firma espectral del frijol</li> <li>• Primera y segunda derivada</li> </ul>	Cuantitativo	Intervalo	Espectroradiómetro FieldSpec4
<b>Dependiente: Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y de clorofila (ICM).</b>	El NDVI, es una transformación no lineal de la banda visible roja y la infrarroja de la radiación incidente y se define como la diferencia entre la banda cercano infrarrojo (NIR) y la visible (roja) sobre la suma. (Loayza, 2012). El ICM es el contenido de la clorofila en la región visible ( $0.4 - 0.7 \mu m$ ), donde se da la reflectancia y la mayor parte de la radiación absorbida por la clorofila.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de clorofila</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de clorofila</li> </ul>	Cuantitativo	Rango	Ecuaciones
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultivo de frijol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)</li> </ul>	Cuantitativo	Rango	Ecuaciones

### **3.4. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.4.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es **Aplicada**, ya que se utilizó un equipo de medición con el espectroradiómetro FieldSpec4, donde el análisis y procesamiento de las firmas espectrales condujo a un conocimiento básico de las características de las firmas espectrales durante el período de crecimiento del cultivo.

#### **3.4.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es **descriptivo** porque se buscó especificar el índice de clorofila y el índice de diferencia normalizada (NDVI) característicos del cultivo de frijol.

Es también **explicativo** porque se buscó explicar, valga la redundancia, por qué se observan variaciones de los parámetros que intervienen en el espectro o firma espectral del frijol.

### **3.5. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

En este trabajo se recolectó datos numéricos de las firmas espectrales para su análisis, obteniendo resultados numéricos que caractericen al cultivo de frijol, por lo que el método es **cuantitativo**. Ya que las características dependen del tipo de especie, será también **cualitativo**.

De acuerdo al método científico es **analítico** y **sintético**, ya que se analizó las características de la firma espectral del cultivo de frijol.

**Método inductivo.** El análisis de los resultados nos llevó a obtener conclusiones sobre las características de las firmas espectrales del cultivo considerado en el año 2019.

### **3.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño de la presente investigación es **no experimental**, ya que el cultivo de frijol de la Ciudad Universitaria UNSCH, no son manipuladas en sus características, de modo que sus reflectancias de sus firmas espectrales dependen de la naturaleza de la especie. Es **transversal** de tendencia, puesto que los datos de la firma espectral se toman durante etapas de crecimiento en el año 2019.

### 3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.7.1. Población

La población está compuesta por la detección de las reflectancias de firmas espectrales del cultivo de frijol, obtenidas con el equipo de espectroradiómetro FieldSpec4, Ciudad Universitaria UNSCH, 2019.

#### 3.7.2. Muestra

Conformada con la selección aleatoria de un sub conjunto de reflectancias de firmas espectrales del cultivo de frijol, obtenidas con el equipo de espectroradiómetro FieldSpec4, Ciudad Universitaria UNSCH, 2019.

### 3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

#### 3.8.1. Técnica

Como primer paso, se reconoció el esquema de la zona de cultivo de frijol, la cual está diseñada conforme al esquema de figura 3.1. para la recolección de datos de la variable en estudio, a partir del uso del espectroradiómetro FieldSpec4 (teniendo como inicio de toma de datos desde el 15-02-19 hasta el 17-05-19).

Sin Rhizobium	4	2	3	1	2	3	1	4	2	1	3	4	1	3	2	4
	I-4-SR	I-2-SR	I-3-SR	I-1-SR	II-2-SR	II-3-SR	II-1-SR	II-4-SR	III-2-SR	III-1-SR	III-3-SR	III-4-SR	IV-1-SR	IV-3-SR	IV-2-SR	IV-4-SR
Con Rhizobium	I-4-CR	I-2-CR	I-3-CR	I-1-CR	II-2-CR	II-3-CR	II-1-CR	II-4-CR	III-2-CR	III-1-CR	III-3-CR	III-4-CR	IV-1-CR	IV-3-CR	IV-2-CR	IV-4-CR
	Bloque I				Bloque II				Bloque III				Bloque IV			

**Figura 3.1.** Esquema de la distribución del cultivo de frijol, con Rhizobium y sin Rhizobium en el campo experimental de Agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

Donde los valores de los códigos corresponden a diferentes tipos de abonos, tal como se detallan en la tabla 3.1 y 3.2.

**Tabla 3.1.** Etiquetas de los bloques para la toma de datos del cultivo de frijol.

Nombre del abono	Código
Mulch + Hydrosorb (M-H)	1
Mulch (Sin Hydrosorb) (H)	2
Hydrosorb (Sin Mulch) (H)	3
Testigo (Sin Hydrosorb, Sin Mulch) (T)	4

**Tabla 3.2.** Etiquetas de los bloques para la toma de datos del cultivo de frijol.

Nombre	Sigla
Con Rhizobium	CR
Sin Rhizobium	SR

Sabiendo que:

- ❖ **Rhizobium:** Es una bacteria, fijadora de nitrógeno atmosférico.
- ❖ **Hydrosorb:** Producto químico (sal), adsorbe humedad.
- ❖ **Mulch:** Cubrir el cultivo con hojas secas.
- ❖ **Testigo:** Sin nada, lo natural.
- ❖ **Bloque I:** Arcilloso
- ❖ **Bloque II y III:** Intermedio.
- ❖ **Bloque IV:** Pedregoso

Esto ayudó a hacer una toma de datos más organizada en el cultivo del frijol. Seguidamente se realizó el estudio de datos recolectados por el espectroradiómetro FieldSpec4, llevando los datos en formatos .txt al Excel para su respectivo proceso de análisis.

Luego se obtiene las gráficas correspondientes con el Excel (teniendo en cuenta un proceso de suavizado de la gráfica), para luego poder calcular el índice de clorofila modificado (ICM), índice de diferencia normalizada (NDVI) y las correlaciones del ICM y NDVI.

- Finalmente llegamos a las discusiones, conclusiones y sugerencias sobre este trabajo de investigación.



**Figura 3.2.** Recolección de datos del cultivo de frijol, con rhizobium y sin rhizobium en el campo experimental de Agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

### **3.8.2. Instrumento**

- Equipo de espectroradiómetro FieldSpec4.

### **3.9. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS**

La validez del instrumento del espectroradiómetro FieldSpec4 es para cuantificar de forma significativa y adecuada las reflectancias de su firma espectral y mide los índices de clorofila y de vegetación de diferencia normalizada cultivo de frijol, Ciudad Universitaria UNSCH 2019.

La confiabilidad del instrumento espectroradiómetro FieldSpec4, se vió en el proceso de la recolección de datos de reflectancias de firmas espectrales del cultivo de frijol.

### **3.10. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

Se analizó e interpretó los resultados obtenidos de recolección de reflectancias de firmas espectrales mediante la observación minuciosa del uso del software del espectroradiómetro, Excel y Matlab, a cargo del tesista guiado por el asesor a cargo, quien se encargó de realizar el procesamiento de la información y la validación de los resultados, los cuales fueron contrastados con la hipótesis para su validación, además se tuvo en cuenta la información de la observación directa que se ha obtenido durante el desarrollo del proyecto.

### **3.11. ASPECTOS ÉTICOS**

El presente trabajo de investigación utilizó los datos de las firmas espectrales tomadas al cultivo experimental de frijol realizado en la Ciudad Universitaria de la UNSCH, con el espectroradiómetro FieldSpec4, sin generar daño alguno a la especie vegetal, al medio ambiente y respetando los protocolos de muestreo, por lo que los resultados obtenidos esperan contribuir con nuevas metodologías en estudios de teledetección, relacionados con el uso de herramientas del espectroradiómetro en la detección y seguimiento del comportamiento del agua, suelo y vegetales dentro del contexto de cambio climático, como parte del nuevo perfil del egresado de Física de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas, siendo el presente borrador de tesis de licenciatura de esta naturaleza, con fines de motivación para próximos trabajos que posibiliten aplicaciones de carácter tecnológico y la sostenibilidad del medio ambiente.



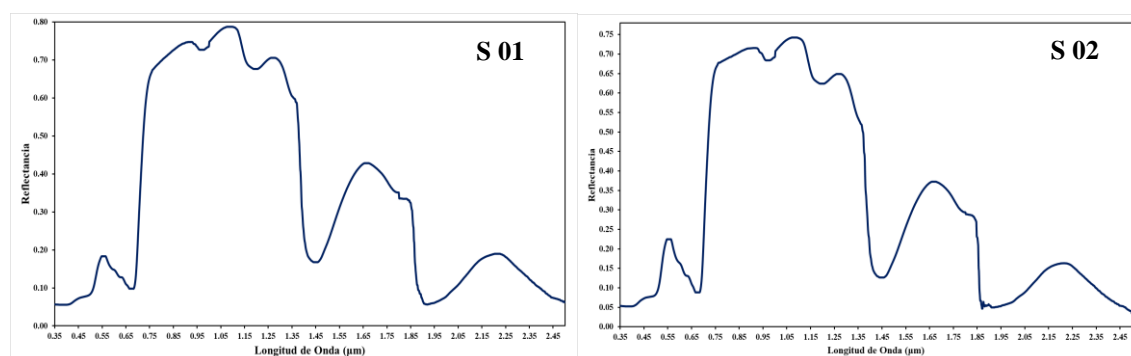
## CAPÍTULO IV

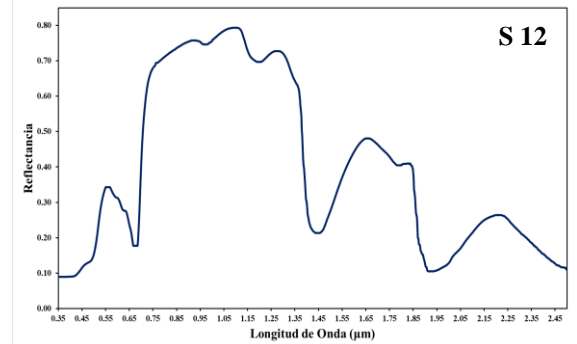
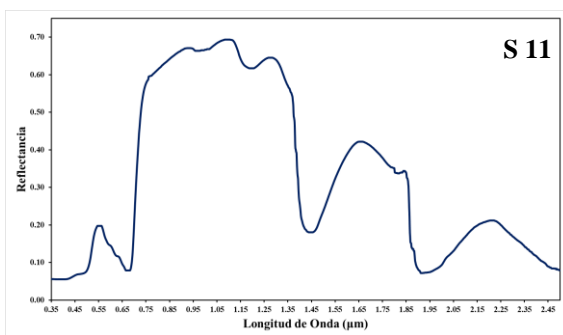
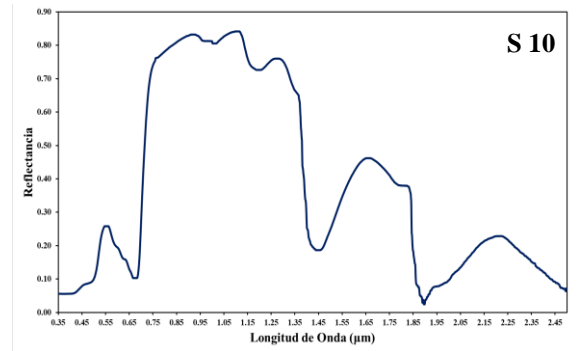
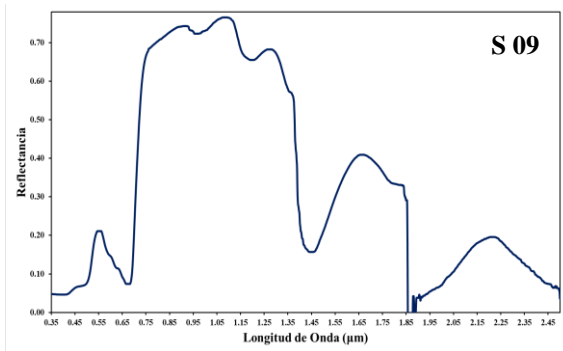
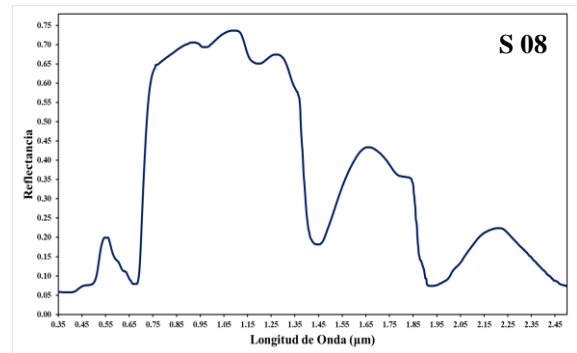
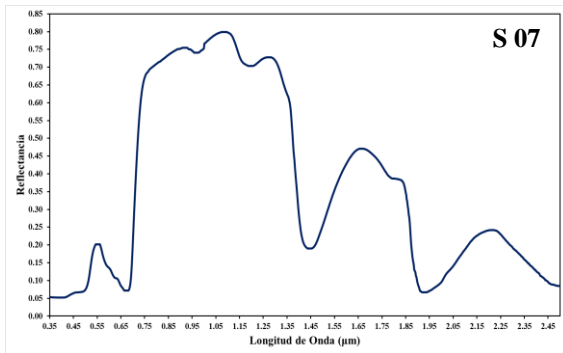
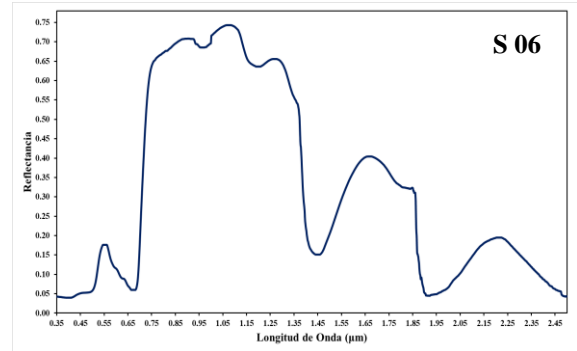
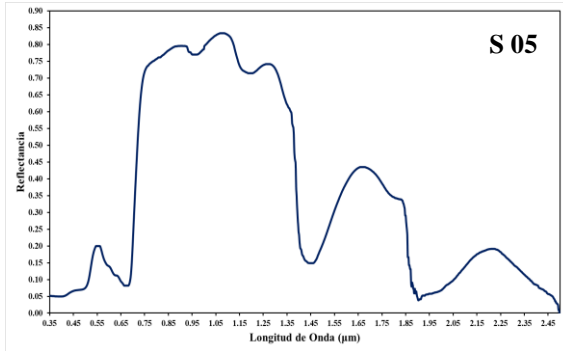
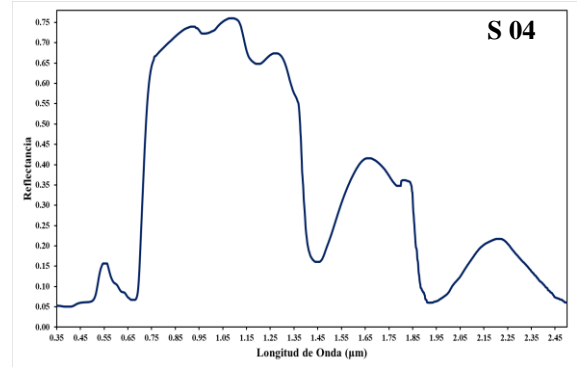
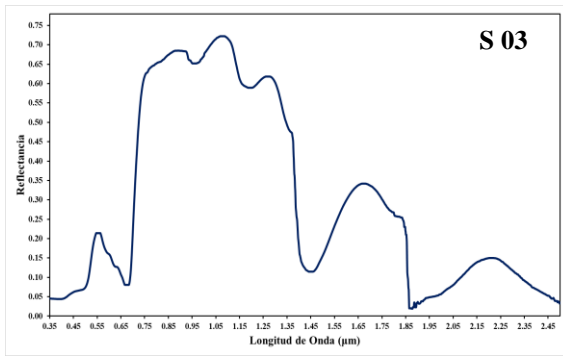
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

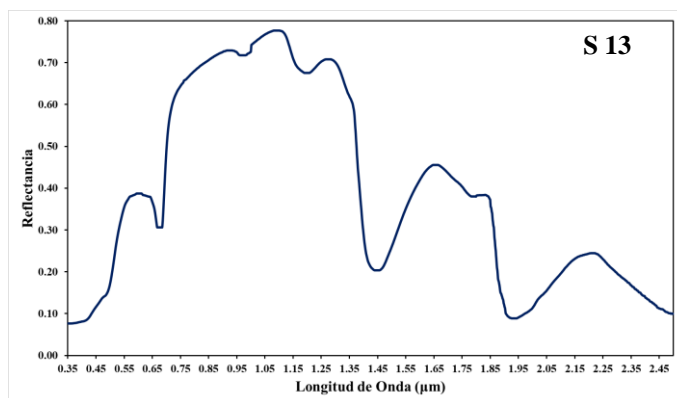
#### 4.1. Determinación de las firmas espectrales del frijol (*Phaseolus vulgaris*) durante las distintas etapas de crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4

En las siguientes figuras se muestra los valores de reflectancia de las bandas en el visible (0.4 a 0.7 $\mu\text{m}$ ), azul (0.45 a 0.52 $\mu\text{m}$ ), verde (0.52 a 0.60 $\mu\text{m}$ ), rojo (0.63 a 0.69 $\mu\text{m}$ ) e infrarrojo cercano NIR (0.77 a 0.90 $\mu\text{m}$ ). A partir de estos valores se han determinado las firmas espectrales del cultivo de frijol en sus distintas etapas de crecimiento.

- Parcela I-1-CR: En la figura 4.1.1 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3355 con una longitud de onda de 0.571 $\mu\text{m}$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.1550 con una longitud de onda de 0.564  $\mu\text{m}$  , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 11 con una longitud de onda 0.900  $\mu\text{m}$  y una reflectancia de 0.6646 y un mínimo con una reflectancia 0.7441 con una longitud de onda 0.898  $\mu\text{m}$  en la semana 01 , el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 10 con una reflectancia de 0.8363 con una longitud de onda de 1.121  $\mu\text{m}$  con un mínimo de reflectancia 0.6930 y una longitud de onda de 1.107  $\mu\text{m}$  en la semana 11.

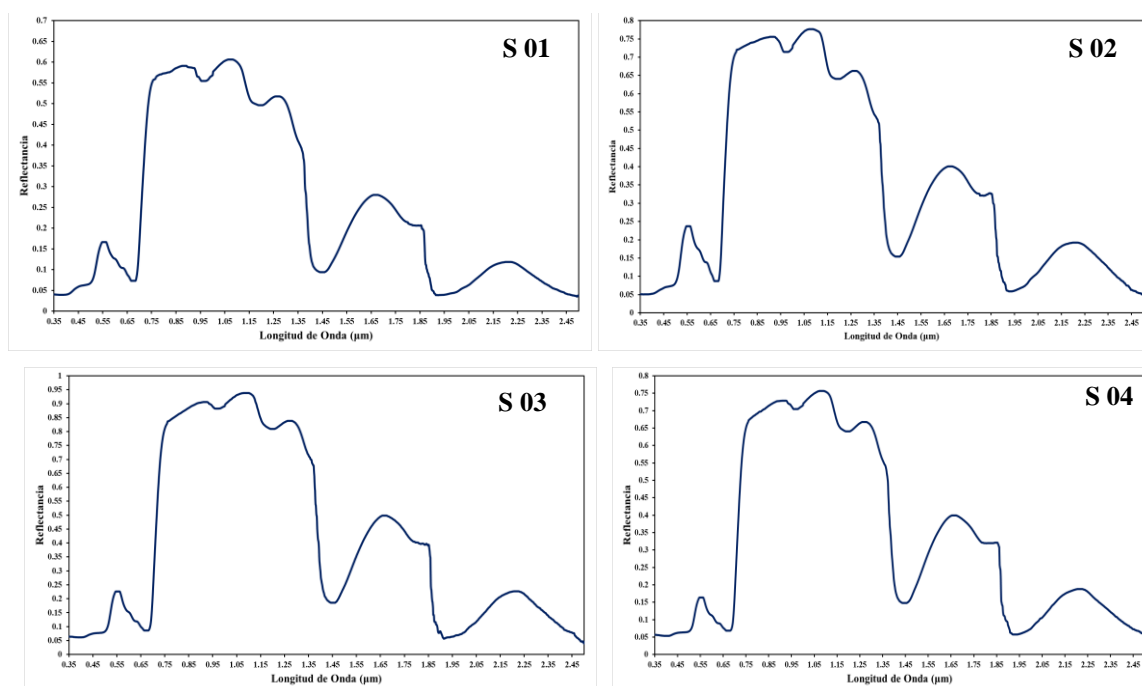


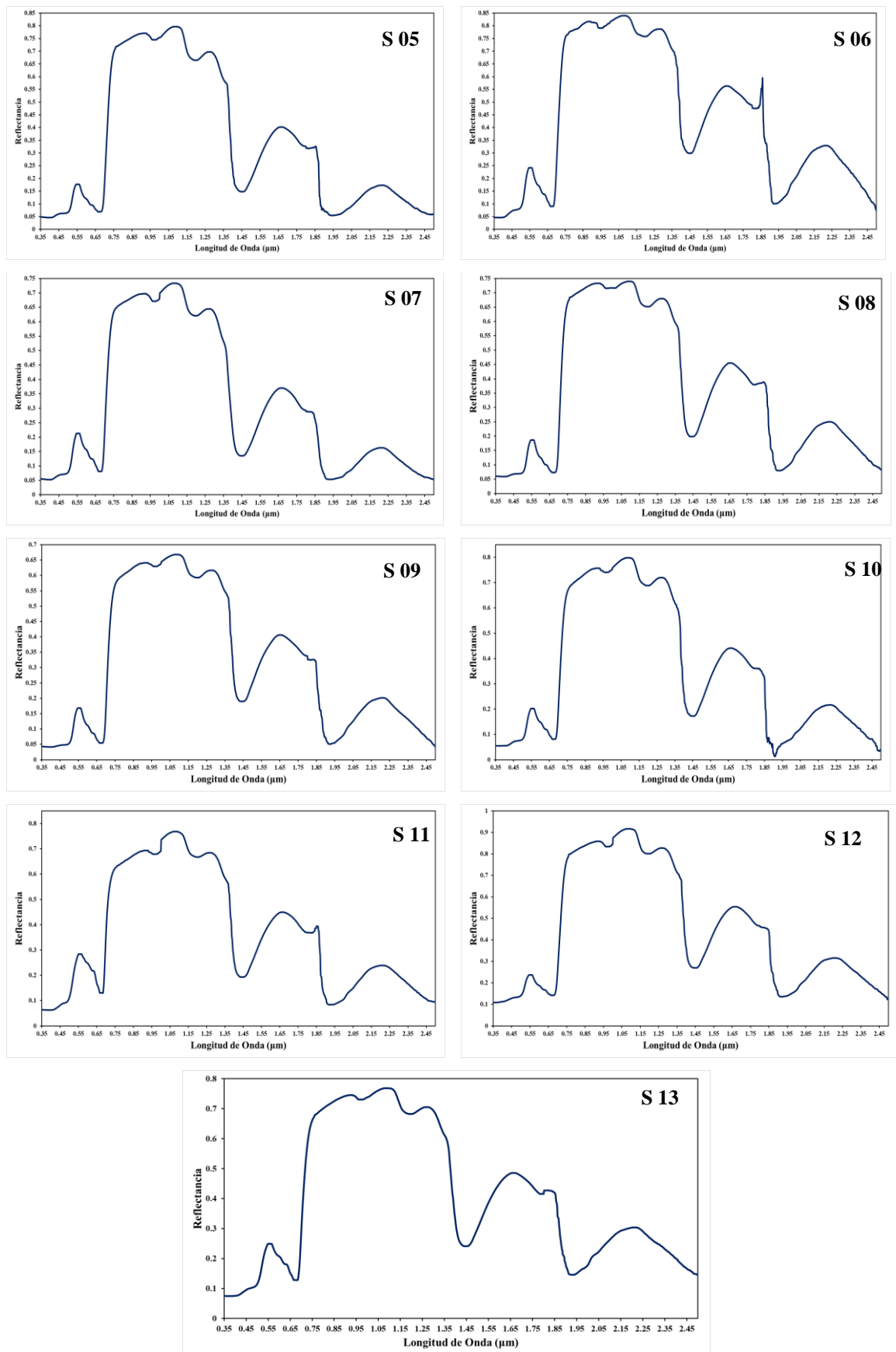




**Figura 4.1.1** Firmas espectrales de la parcela I-1-CR durante las 13 semanas de crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

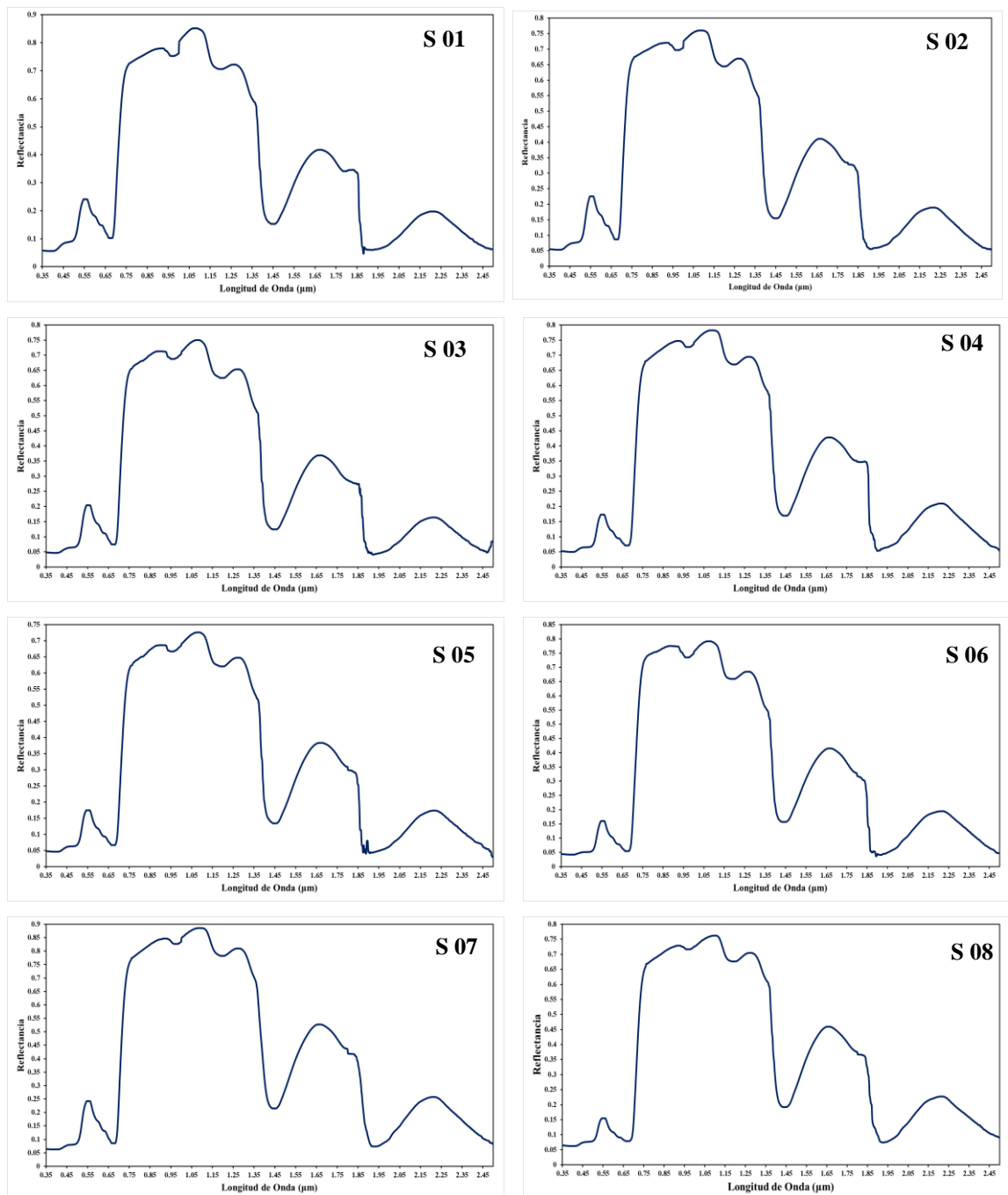
- Parcela I-1-SR: En la figura 4.1.2 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2838 con una longitud de onda de  $0.557 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 11, el mínimo se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.1636 con una longitud de onda de  $0.551 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 03 con una longitud de onda  $0.911 \mu m$  y una reflectancia de 0.9062 y un mínimo con una reflectancia 0.5912 con una longitud de onda  $0.881 \mu m$  en la semana 01, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 03 con una reflectancia de 0.9387 con una longitud de onda de  $1.091 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6066 y una longitud de onda de  $1.079 \mu m$  en la semana 01.

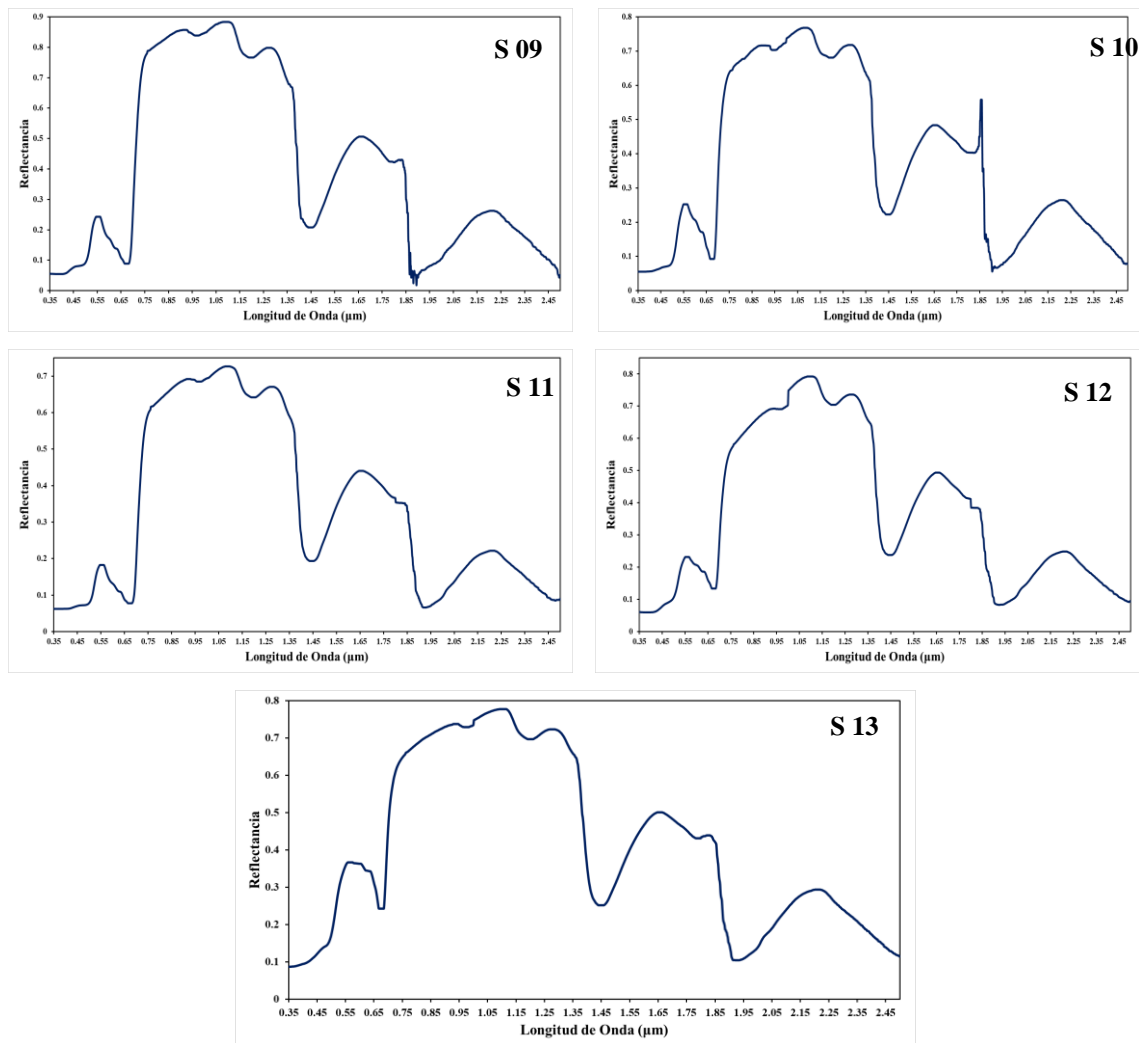




**Figura 4.1.2** Firmas espectrales de la parcela I-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

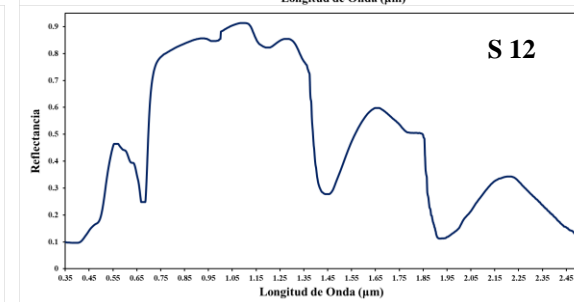
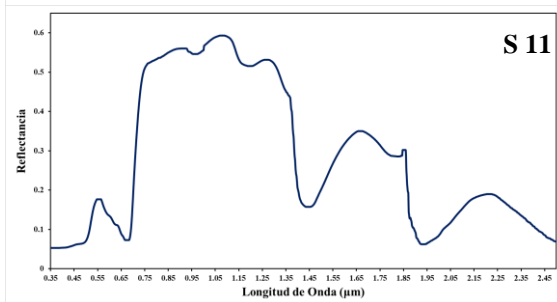
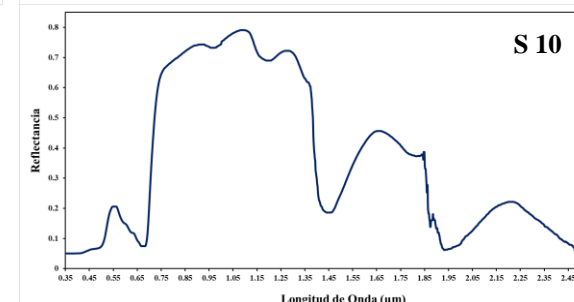
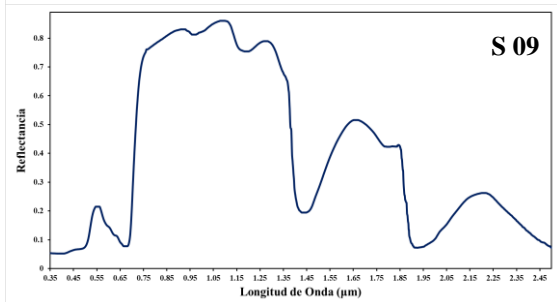
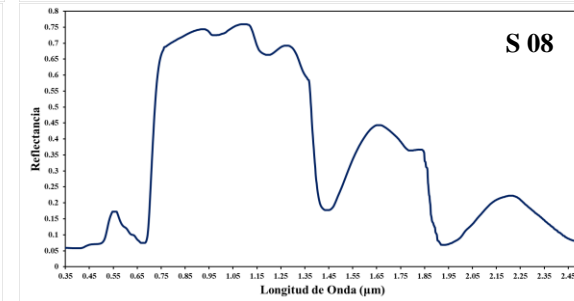
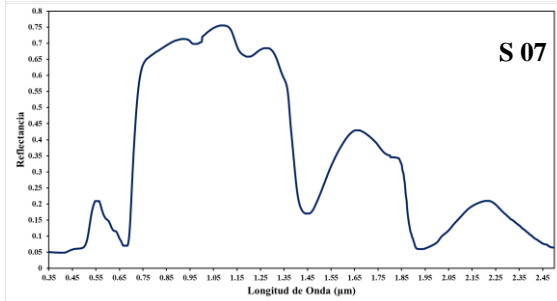
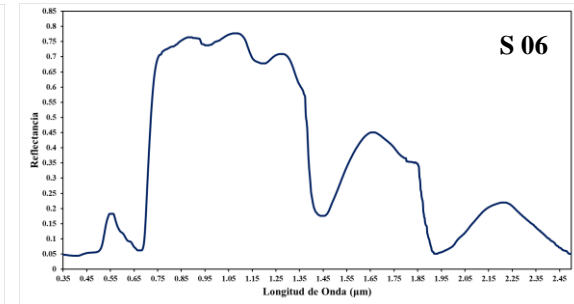
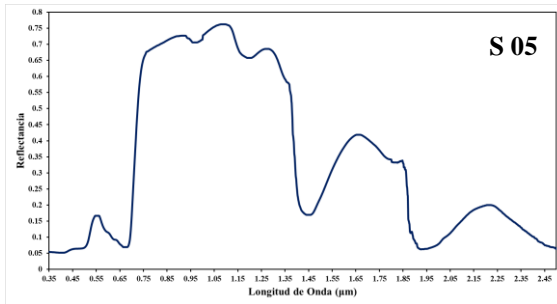
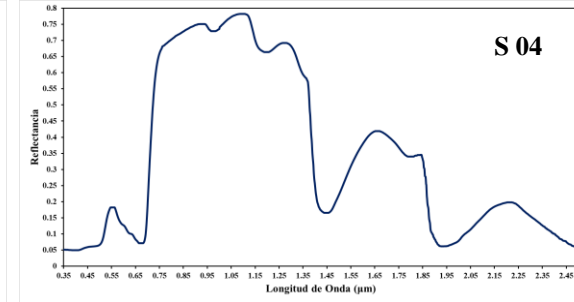
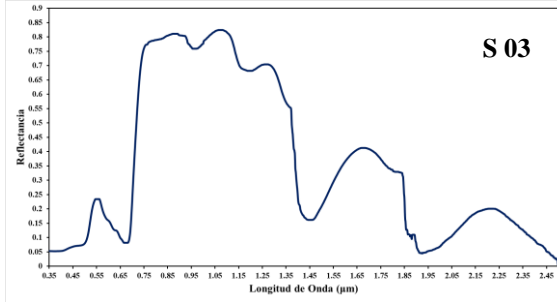
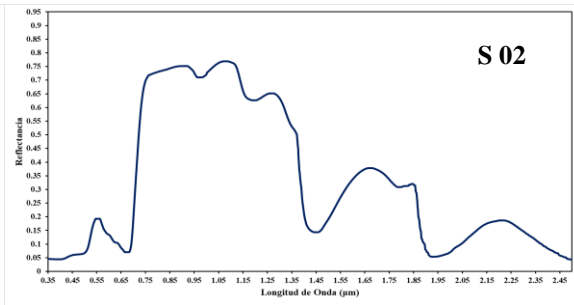
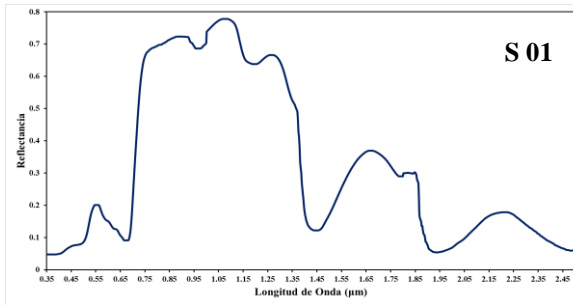
- Parcela I-2-CR: En la figura 4.1.3 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2370 con una longitud de onda de  $0.566 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 01, el mínimo se da en la semana 08 con una reflectancia de 0.1544 con una longitud de onda de  $0.551 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 09 con una longitud de onda  $0.919 \mu m$  y una reflectancia de 0.8569 y un mínimo con una reflectancia 0.8465 con una longitud de onda  $0.923 \mu m$  en la semana 07, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 07 con una reflectancia de 0.8856 con una longitud de onda de  $1.085 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7252 y una longitud de onda de  $1.067 \mu m$  en la semana 05.

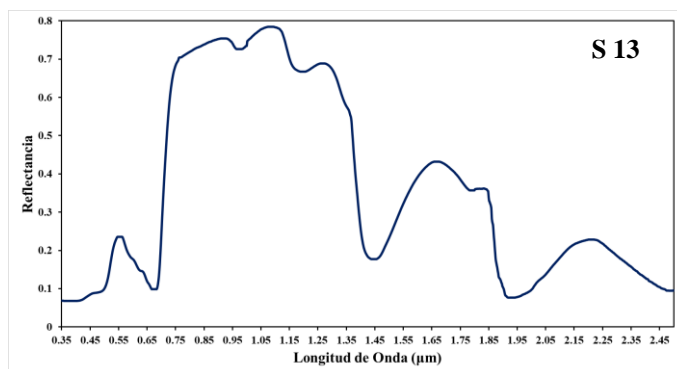




**Figura 4.1.3** Firmas espectrales de la parcela I-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

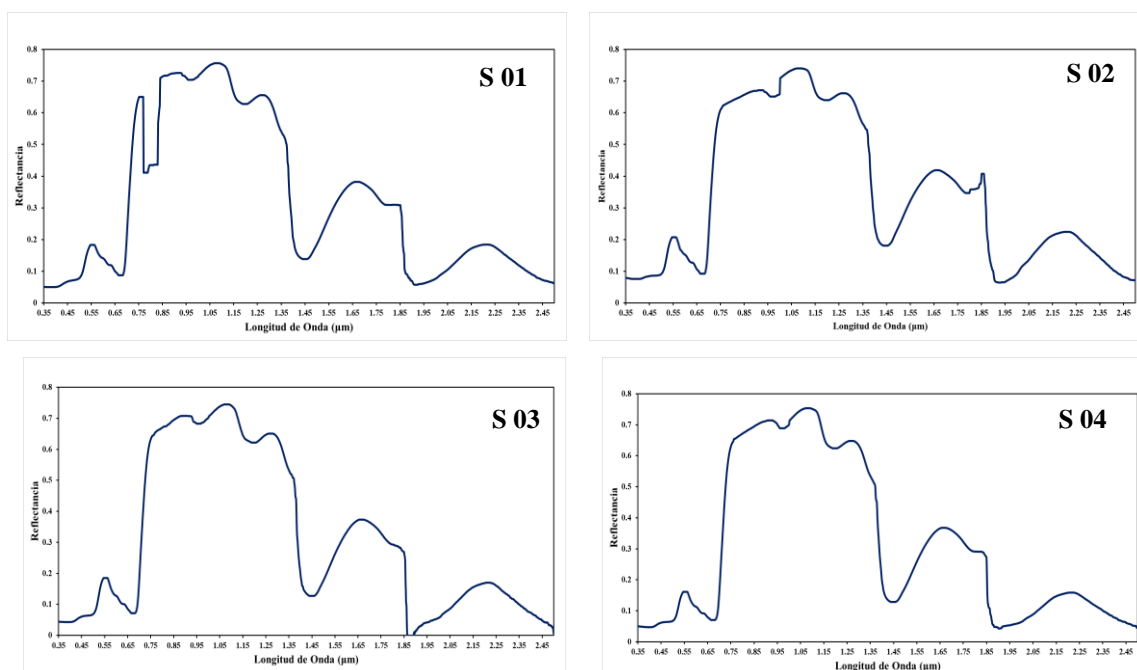
- Parcela I-2-SR: En la figura 4.1.4 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.4643 con una longitud de onda de  $0.563 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1622 con una longitud de onda de  $0.565 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 12 con una longitud de onda  $0.914 \mu m$  y una reflectancia de 0.8586 y un mínimo con una reflectancia 0.5603 con una longitud de onda  $0.901 \mu m$  en la semana 11, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.8580 con una longitud de onda de  $1.072 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.5934 y una longitud de onda de  $1.081 \mu m$  en la semana 11.



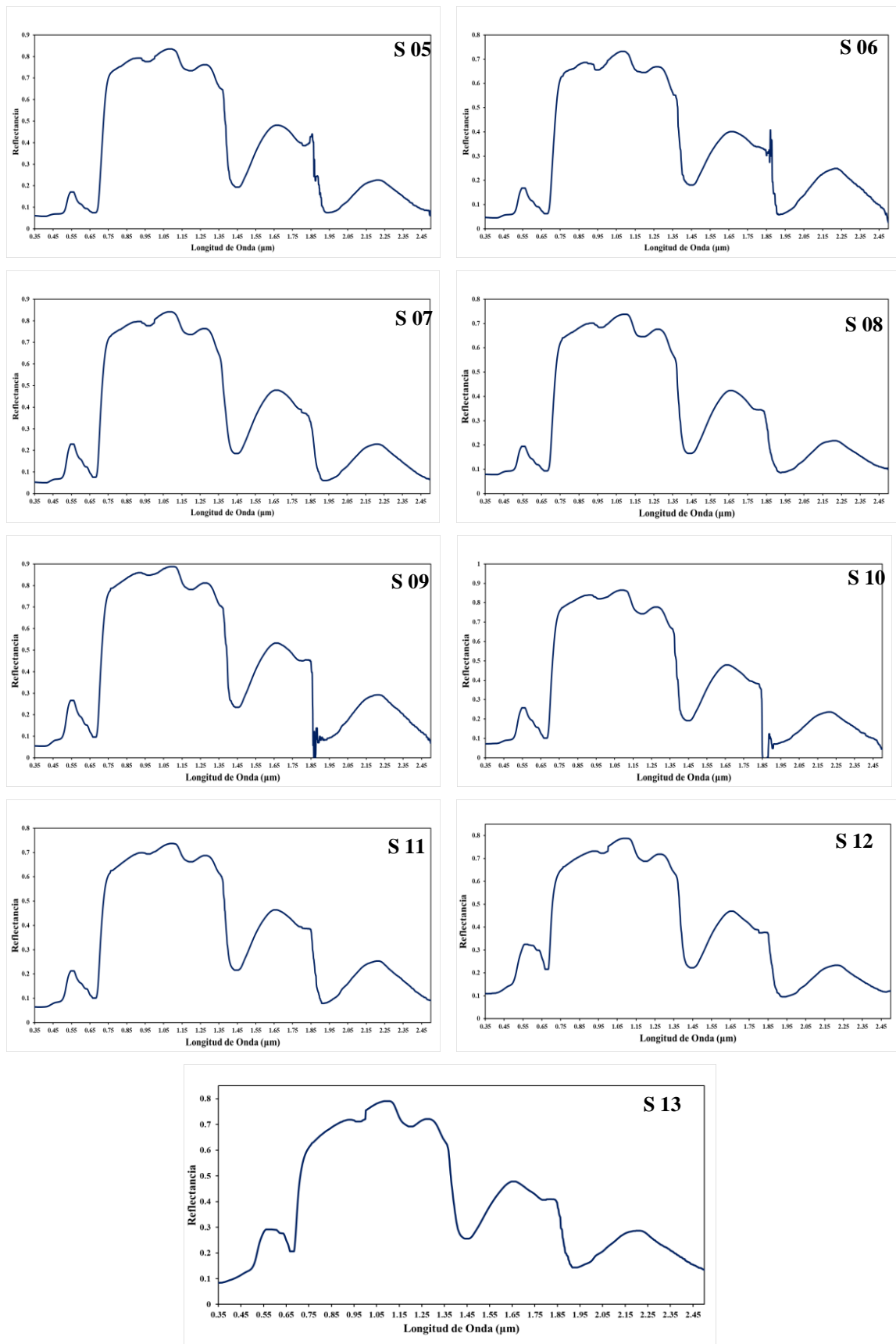


**Figura 4.1.4** Firmas espectrales de la parcela I-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela I-3-CR: En la figura 4.1.5 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3249 con una longitud de onda de  $0.563 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.1614 con una longitud de onda de  $0.557 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 09 con una longitud de onda  $0.908 \mu m$  y una reflectancia de 0.8581 y un mínimo con una reflectancia 0.6502 con una longitud de onda  $0.762 \mu m$  en la semana 01, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.8872 con una longitud de onda de  $1.085 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7205 y una longitud de onda de  $0.933 \mu m$  en la semana 01.

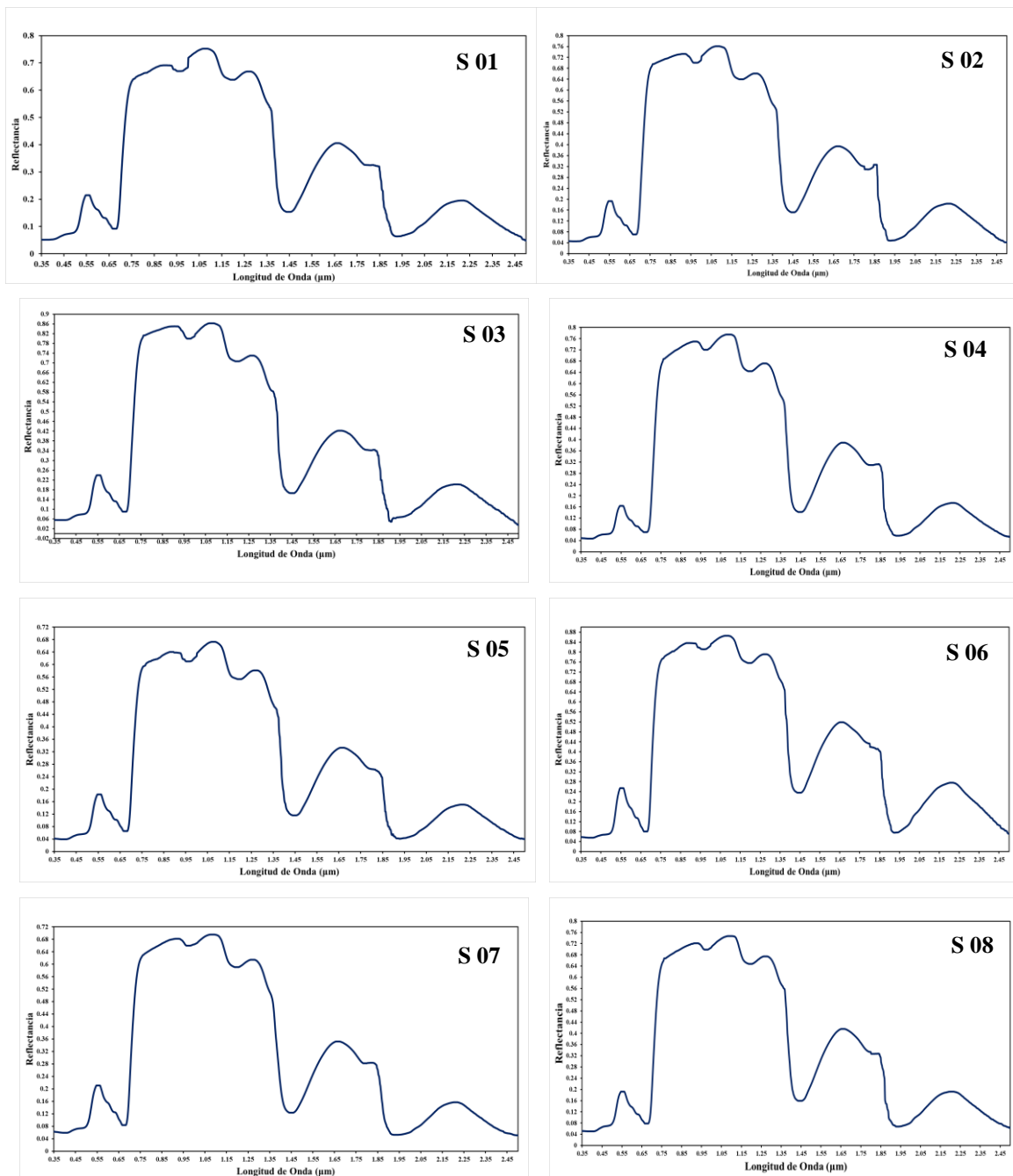


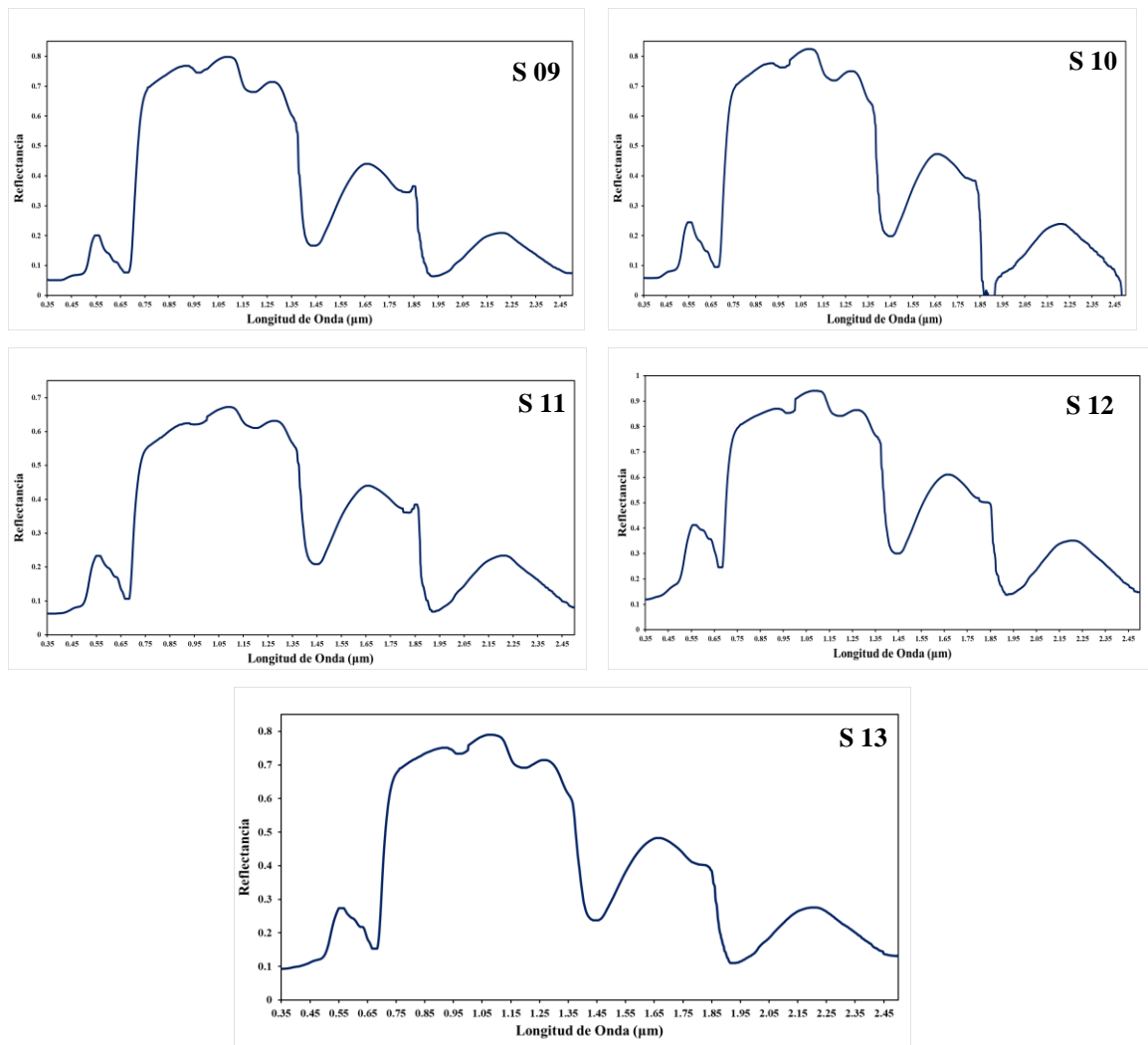




**Figura 4.1.5** Firmas espectrales de la parcela I-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

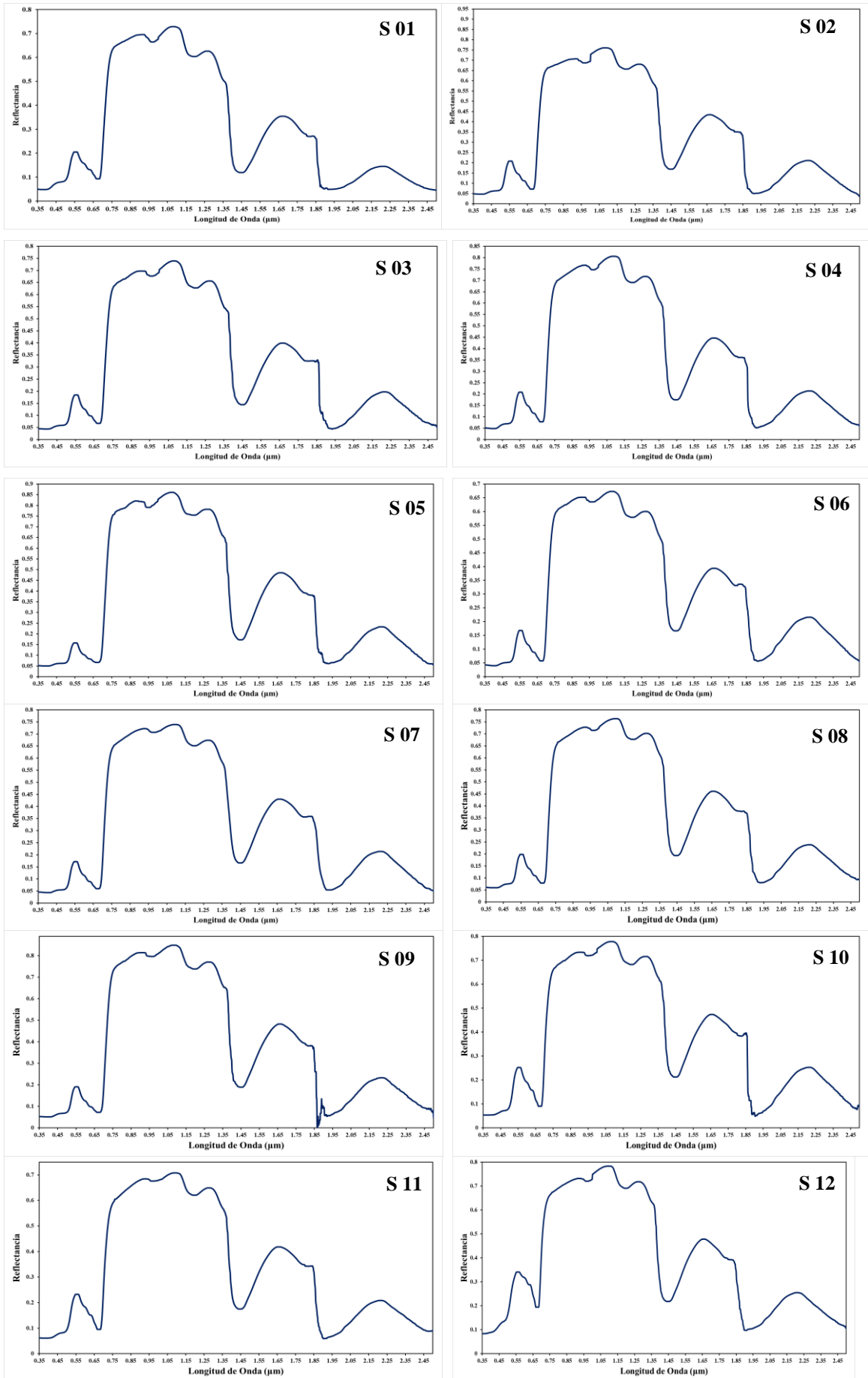
- Parcela I-3-SR: En la figura 4.1.6 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.4124 con una longitud de onda de  $0.566 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.1583 con una longitud de onda de  $0.565 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 12 con una longitud de onda  $0.909 \mu m$  y una reflectancia de 0.8693 y un mínimo con una reflectancia 0.6409 con una longitud de onda  $0.885 \mu m$  en la semana 05, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 12 con una reflectancia de 0.9389 con una longitud de onda de  $1.066 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6721 y una longitud de onda de  $1.062 \mu m$  en la semana 05.

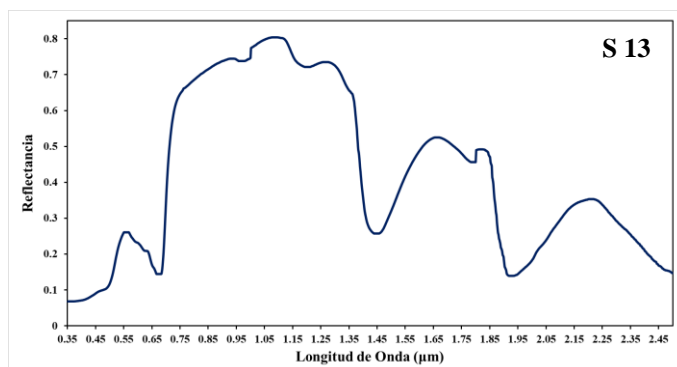




**Figura 4.1.6** Firmas espectrales de la parcela I-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

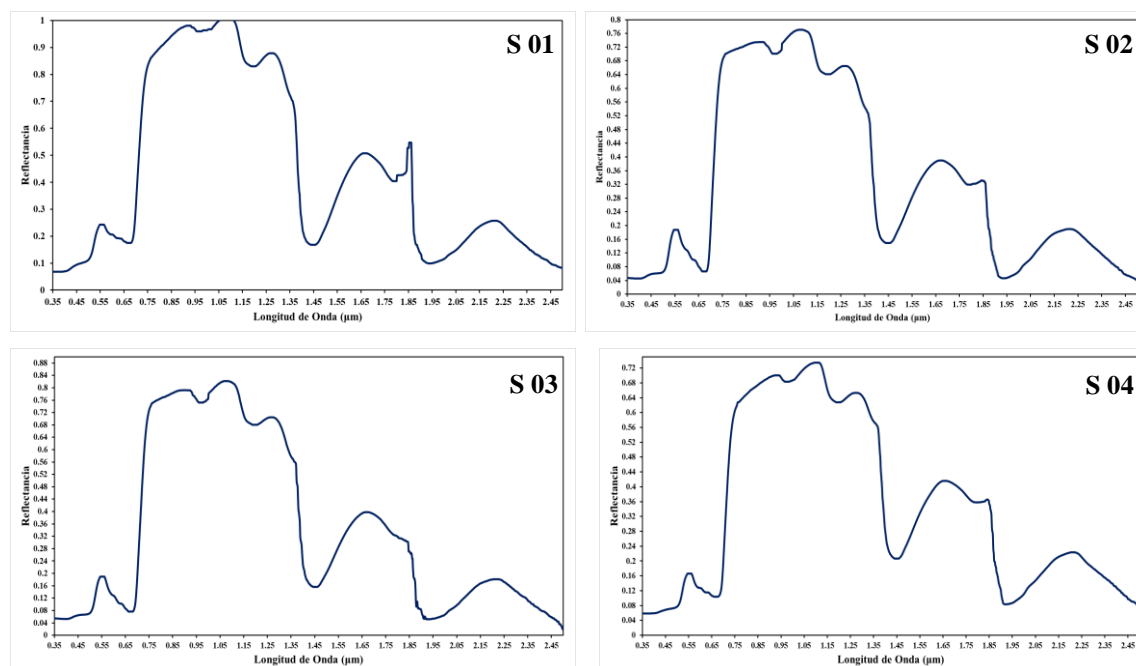
- Parcela I-4-CR: En la figura 4.1.7 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3411 con una longitud de onda de  $0.563 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1572 con una longitud de onda de  $0.551 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 05 con una longitud de onda  $0.883 \mu m$  y una reflectancia de 0.8212 y un mínimo con una reflectancia 0.6509 con una longitud de onda  $0.889 \mu m$  en la semana 06, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.8614 con una longitud de onda de  $1.078 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6730 y una longitud de onda de  $1.072 \mu m$  en la semana 06.

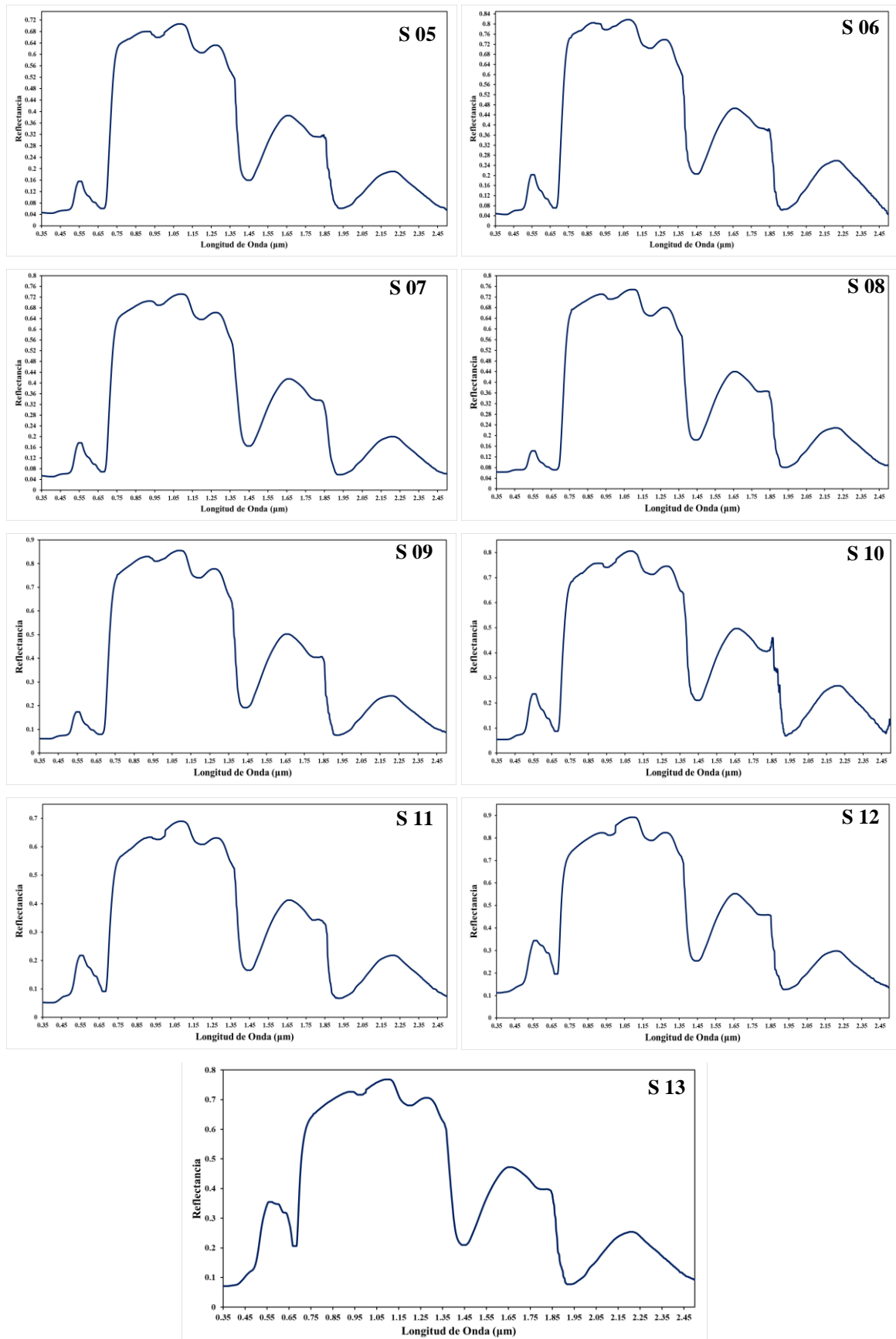




**Figura 4.1.7** Firmas espectrales de la parcela I-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

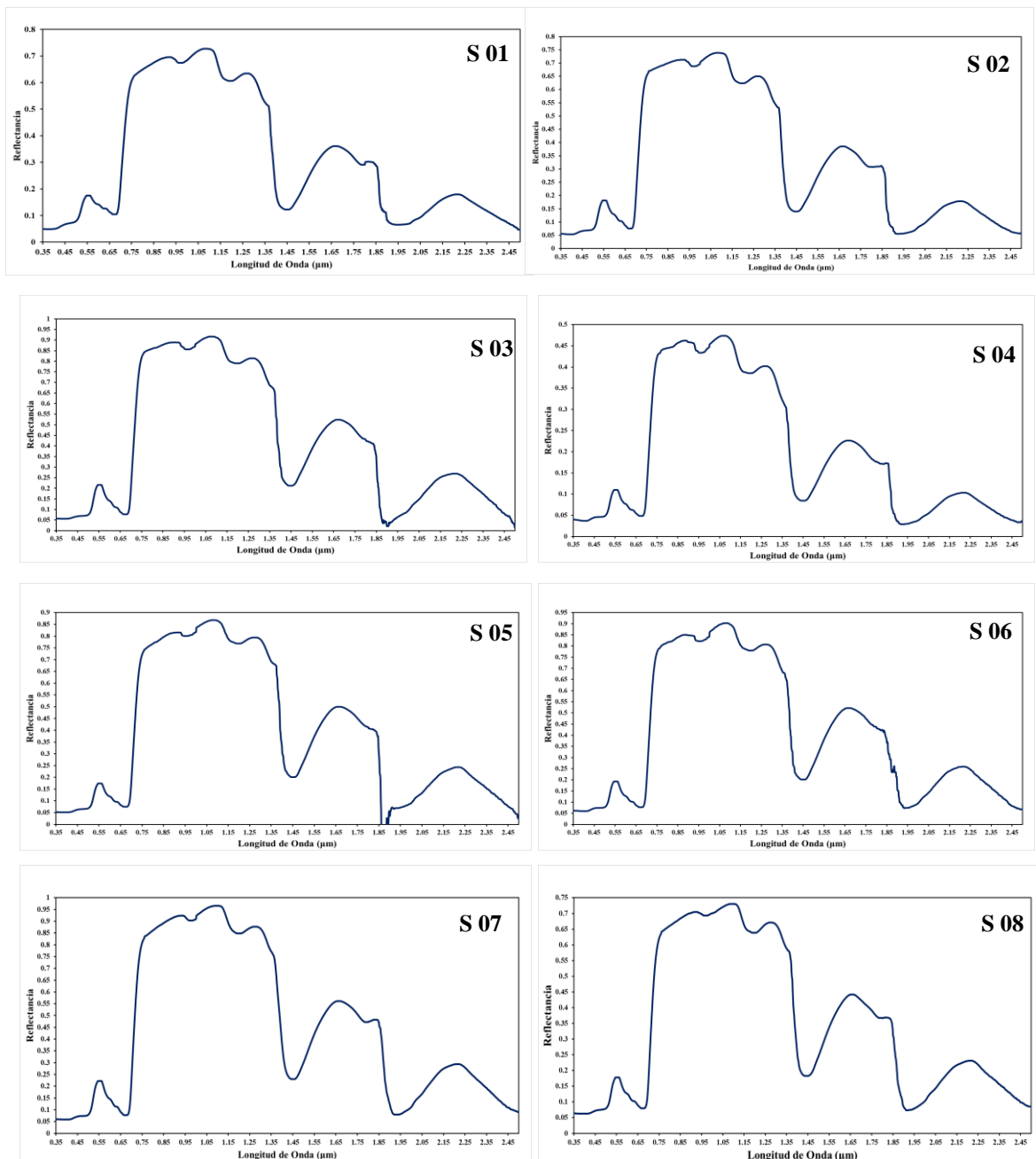
- Parcela I-4-SR: En la figura 4.1.8 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3537 con una longitud de onda de  $0.576 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 08 con una reflectancia de 0.1424 con una longitud de onda de  $0.551 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 01 con una longitud de onda  $0.900 \mu m$  y una reflectancia de 0.9750 y un mínimo con una reflectancia 0.6329 con una longitud de onda  $0.906 \mu m$  en la semana 11, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 01 con una reflectancia de 0.9934 con una longitud de onda de  $1.044 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6895 y una longitud de onda de  $1.074 \mu m$  en la semana 11.

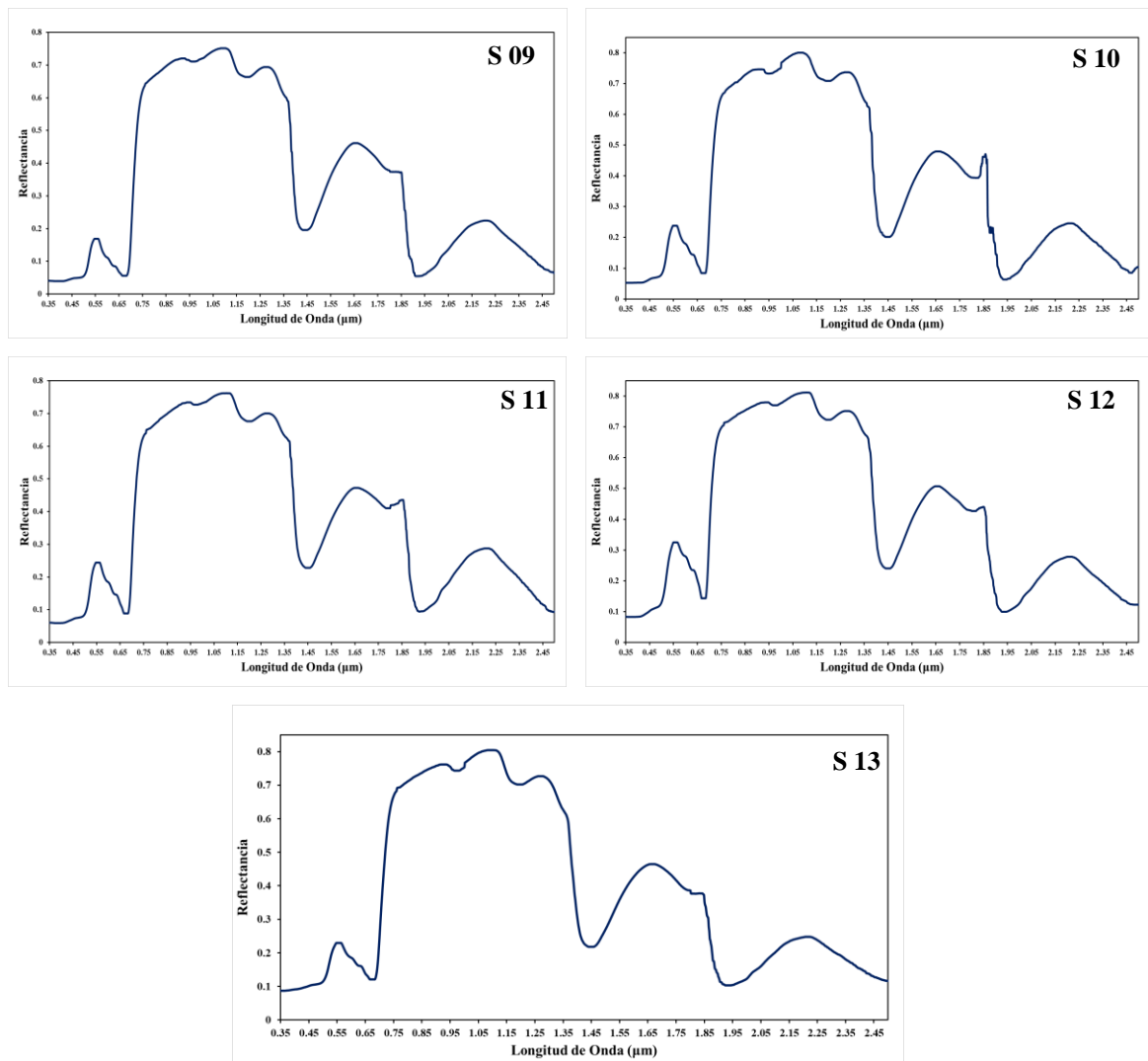




**Figura 4.1.8** Firmas espectrales de la parcela I-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela II-1-CR: En la figura 4.1.9 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2443 con una longitud de onda de  $0.552 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 11, el mínimo se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.1049 con una longitud de onda de  $0.566 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 07 con una longitud de onda  $0.918 \mu m$  y una reflectancia de 0.9234 y un mínimo con una reflectancia 0.4624 con una longitud de onda  $0.882 \mu m$  en la semana 04, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 07 con una reflectancia de 0.9664 con una longitud de onda de  $1.088 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.4741 y una longitud de onda de  $1.064 \mu m$  en la semana 04.

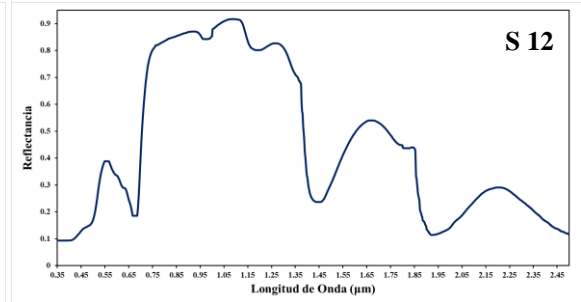
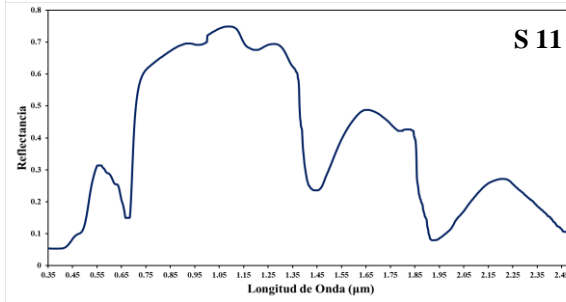
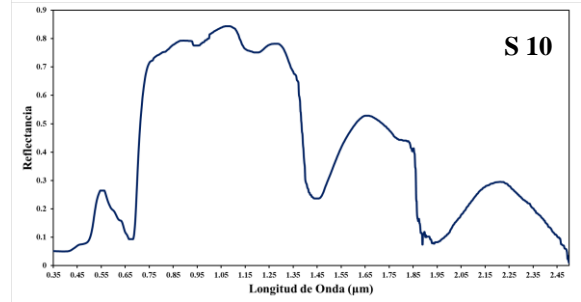
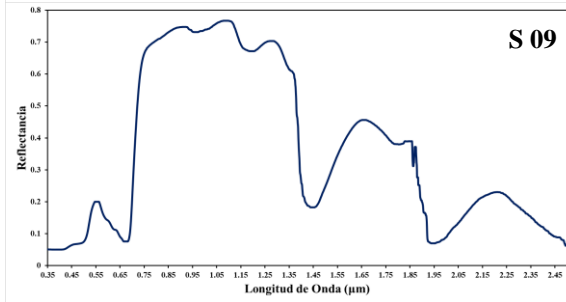
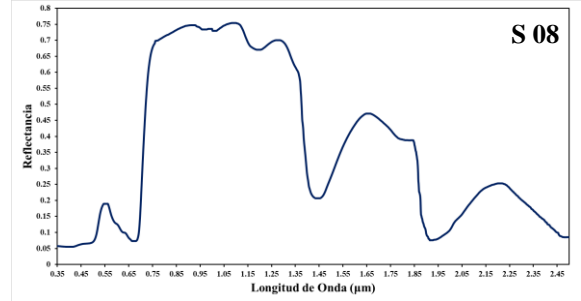
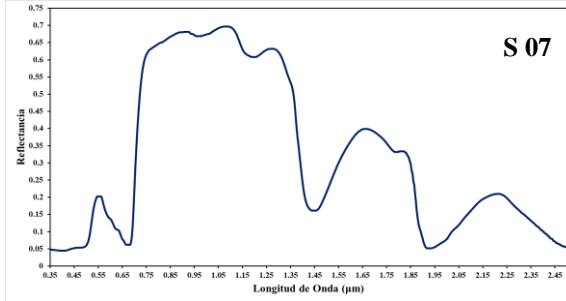
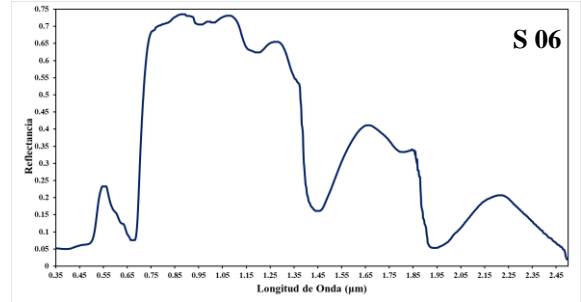
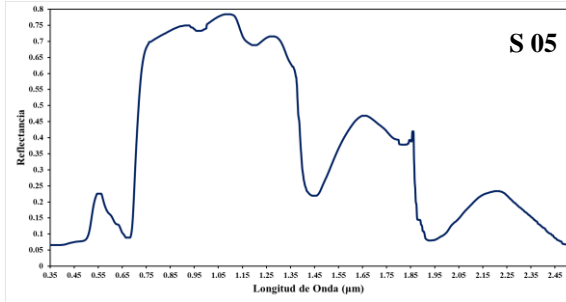
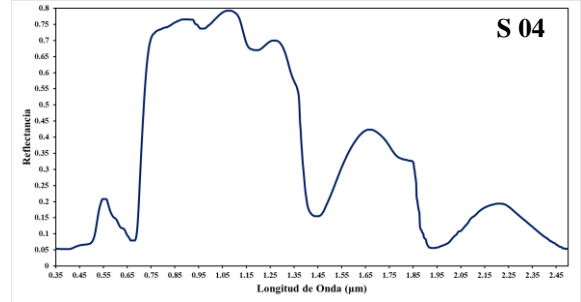
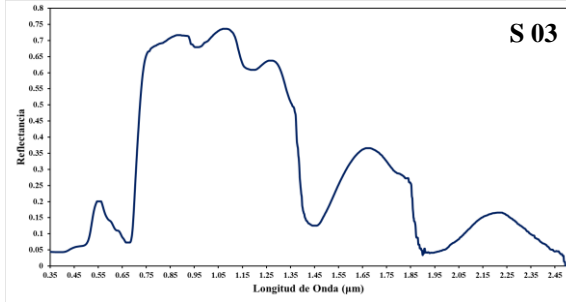
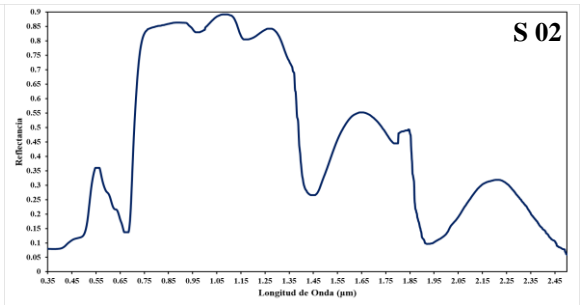
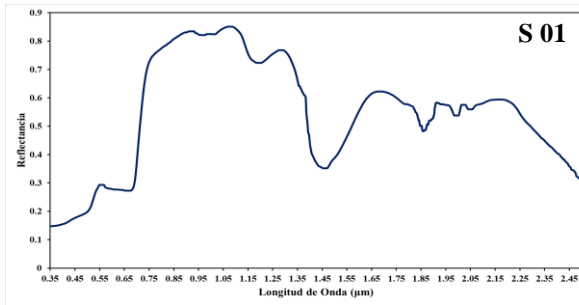


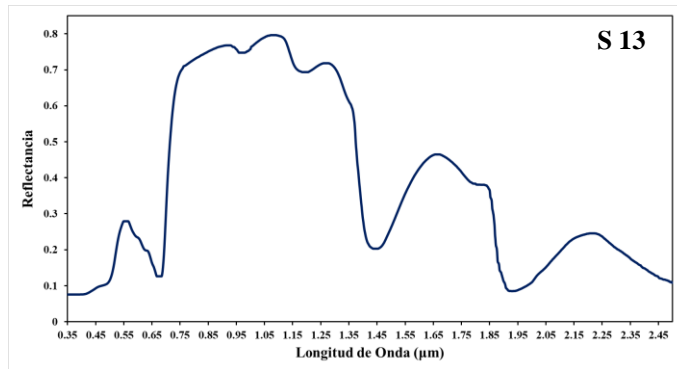


**Figura 4.1.9** Firmas espectrales de la parcela II-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela II-1-SR: En la figura 4.1.10 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3786 con una longitud de onda de  $0.571 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 08 con una reflectancia de 0.1895 con una longitud de onda de  $0.551 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 12 con una longitud de onda  $0.916 \mu m$  y una reflectancia de 0.8711 y un mínimo con una reflectancia 0.6942 con una longitud de onda  $0.910 \mu m$  en la semana 11, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 12 con una reflectancia de 0.9173 con una longitud de onda de  $1.078 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6965 y una longitud de onda de  $1.082 \mu m$  en la semana 07.

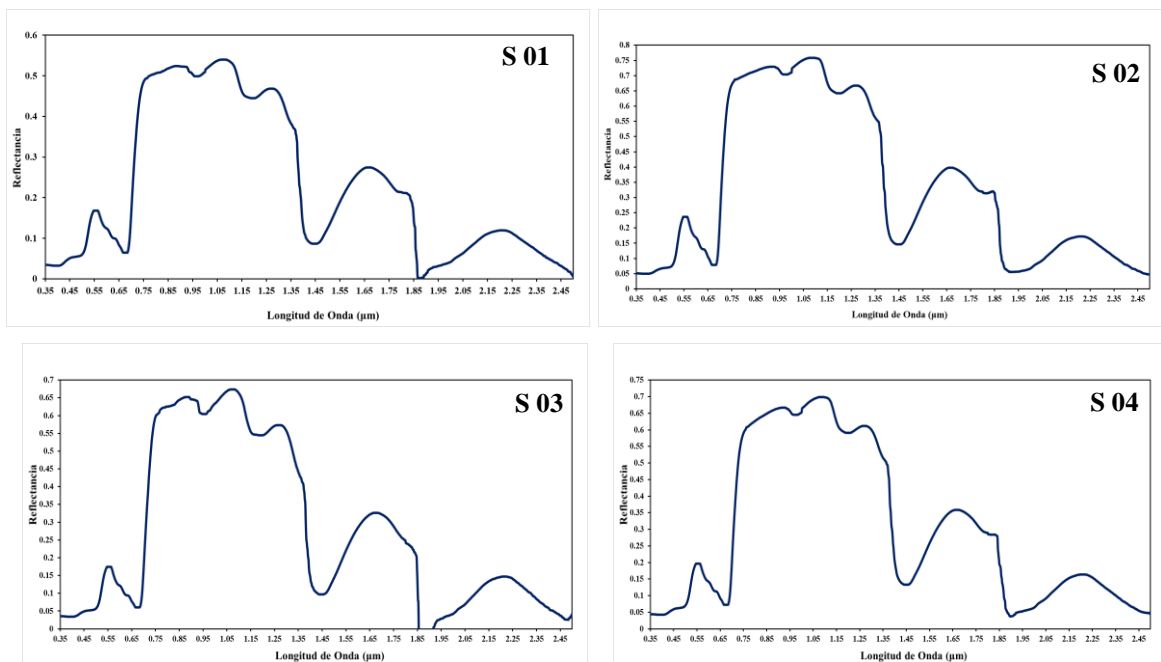


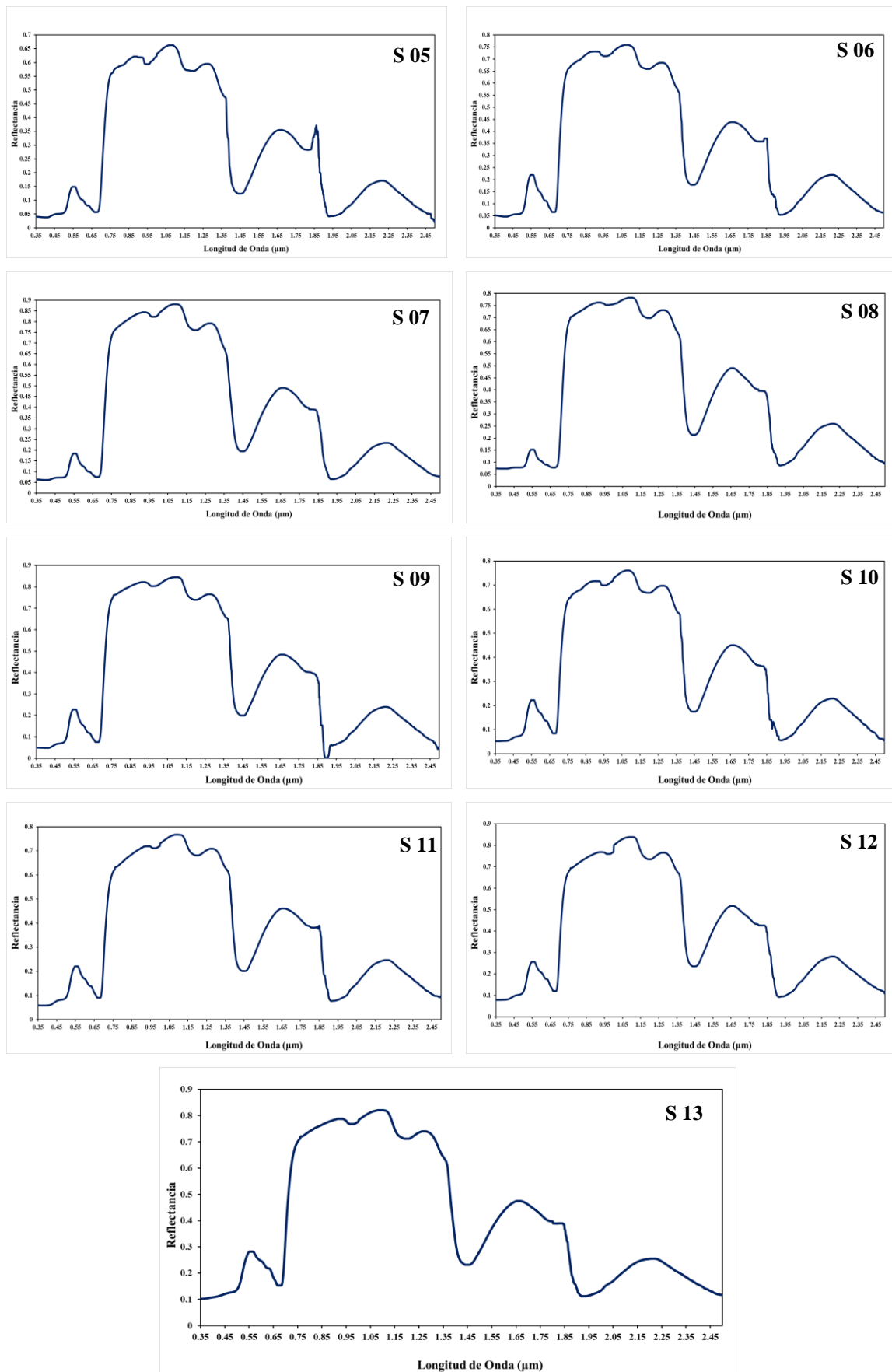




**Figura 4.1.10** Firmas espectrales de la parcela II-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

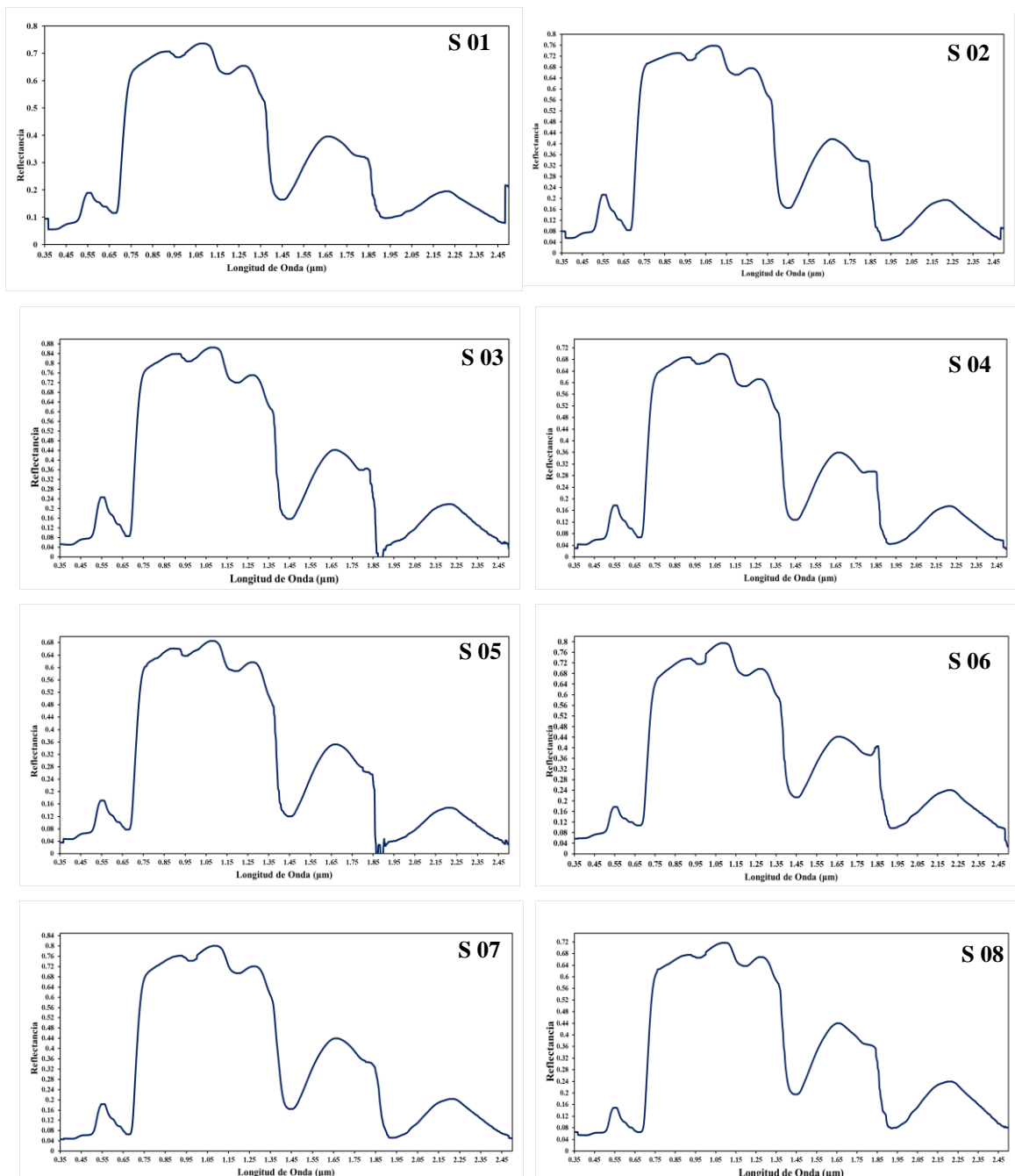
- Parcela II-2-CR: En la figura 4.1.11 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2799 con una longitud de onda de 0.569  $\mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1486 con una longitud de onda de 0.554  $\mu m$  , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 07 con una longitud de onda 0.924  $\mu m$  y una reflectancia de 0.8433 y un mínimo con una reflectancia 0.5238 con una longitud de onda 0.878  $\mu m$  en la semana 01 , el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 07 con una reflectancia de 0.8795 con una longitud de onda de 1.072  $\mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.5392 y una longitud de onda de 1.060  $\mu m$  en la semana 01.

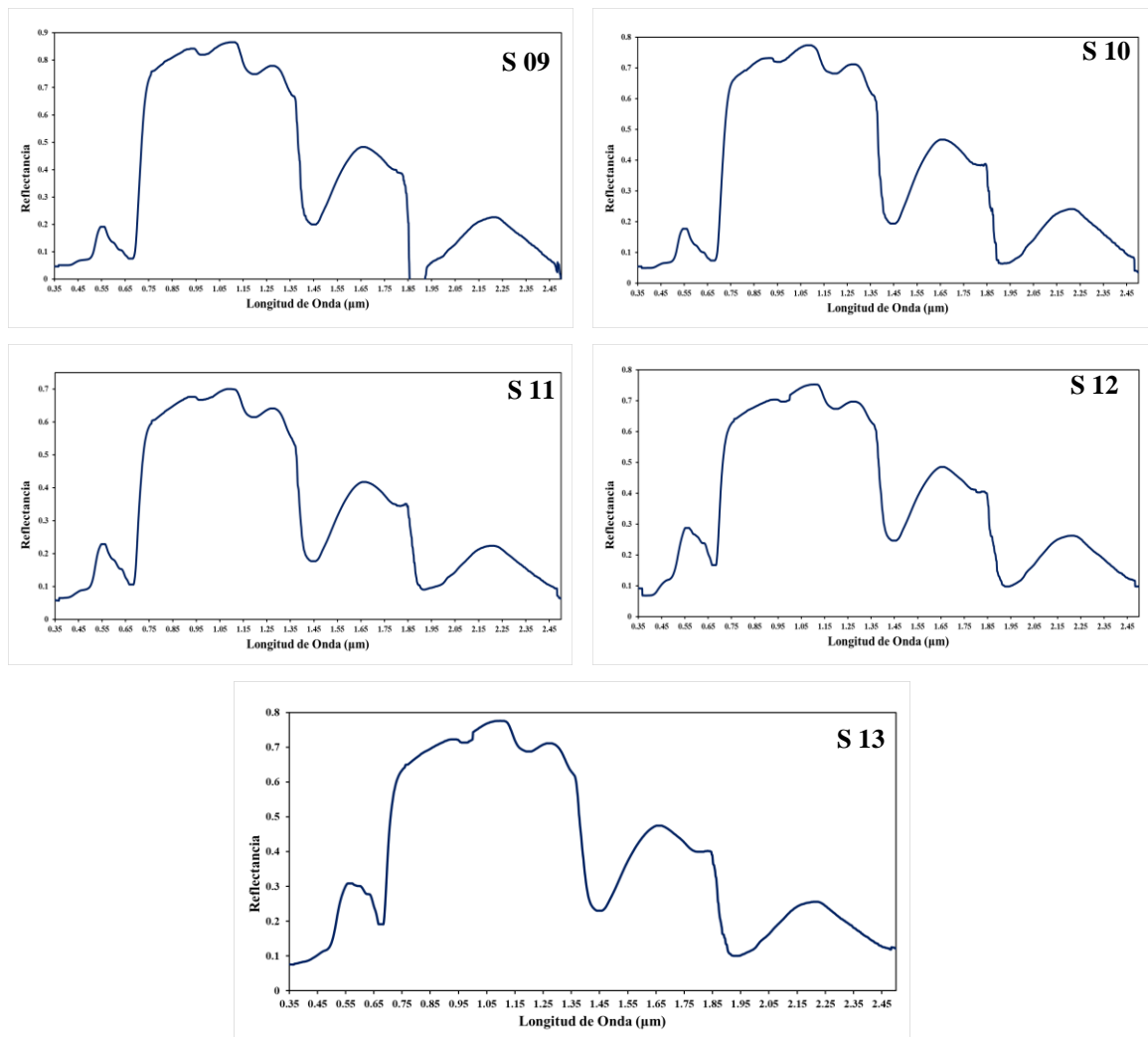




**Figura 4.1.11** Firmas espectrales de la parcela II-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

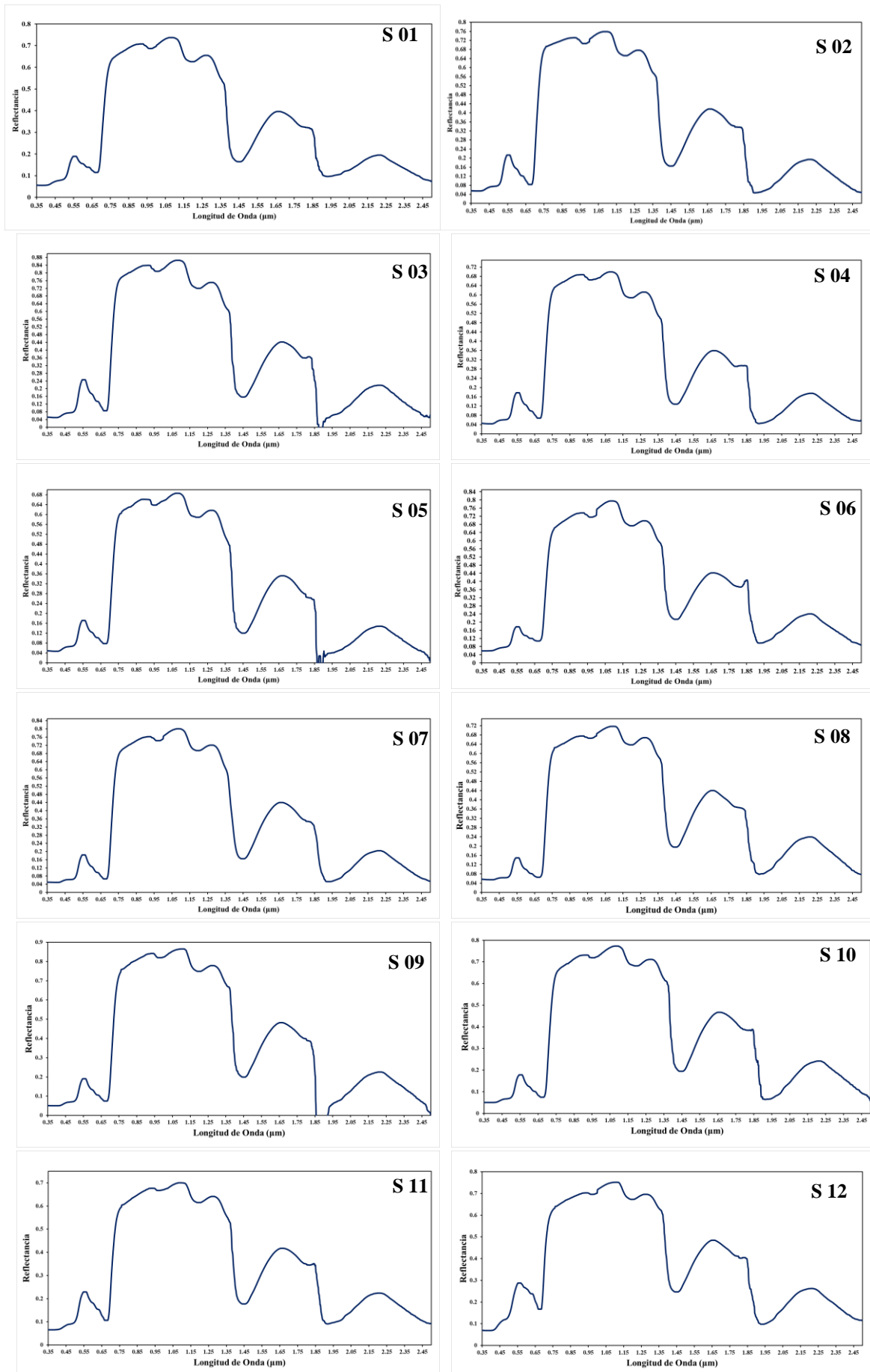
- Parcela II-2-SR: En la figura 4.1.12 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3088 con una longitud de onda de  $0.569 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 08 con una reflectancia de 0.1436 con una longitud de onda de  $0.565 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 03 con una longitud de onda  $0.886 \mu m$  y una reflectancia de 0.8370 y un mínimo con una reflectancia 0.6605 con una longitud de onda  $0.880 \mu m$  en la semana 05, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.8654 con una longitud de onda de  $1.094 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6855 y una longitud de onda de  $1.072 \mu m$  en la semana 05.

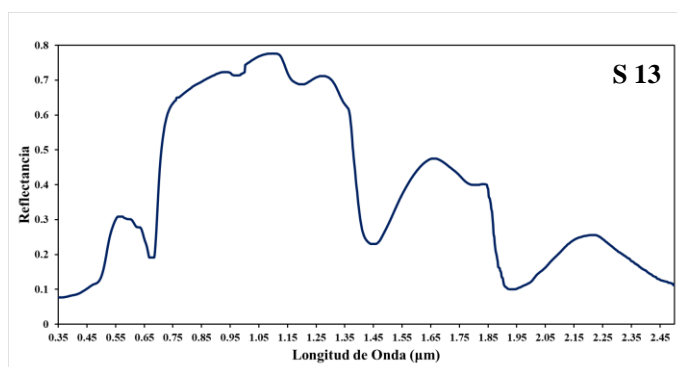




**Figura 4.1.12** Firmas espectrales de la parcela II-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

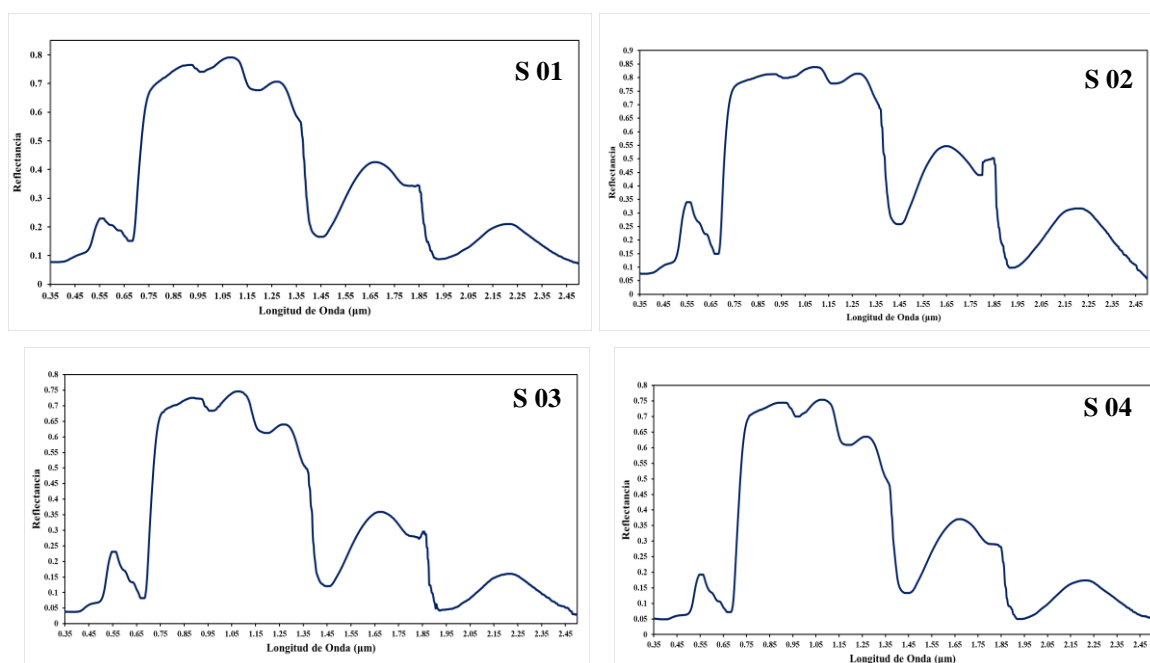
- Parcela II-3-CR: En la figura 4.1.13 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3056 con una longitud de onda de  $0.579 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1696 con una longitud de onda de  $0.564 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 09 con una longitud de onda  $0.913 \mu m$  y una reflectancia de 0.8399 y un mínimo con una reflectancia 0.6605 con una longitud de onda  $0.880 \mu m$  en la semana 05, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.8658 con una longitud de onda de  $1.101 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6855 y una longitud de onda de  $1.076 \mu m$  en la semana 05.

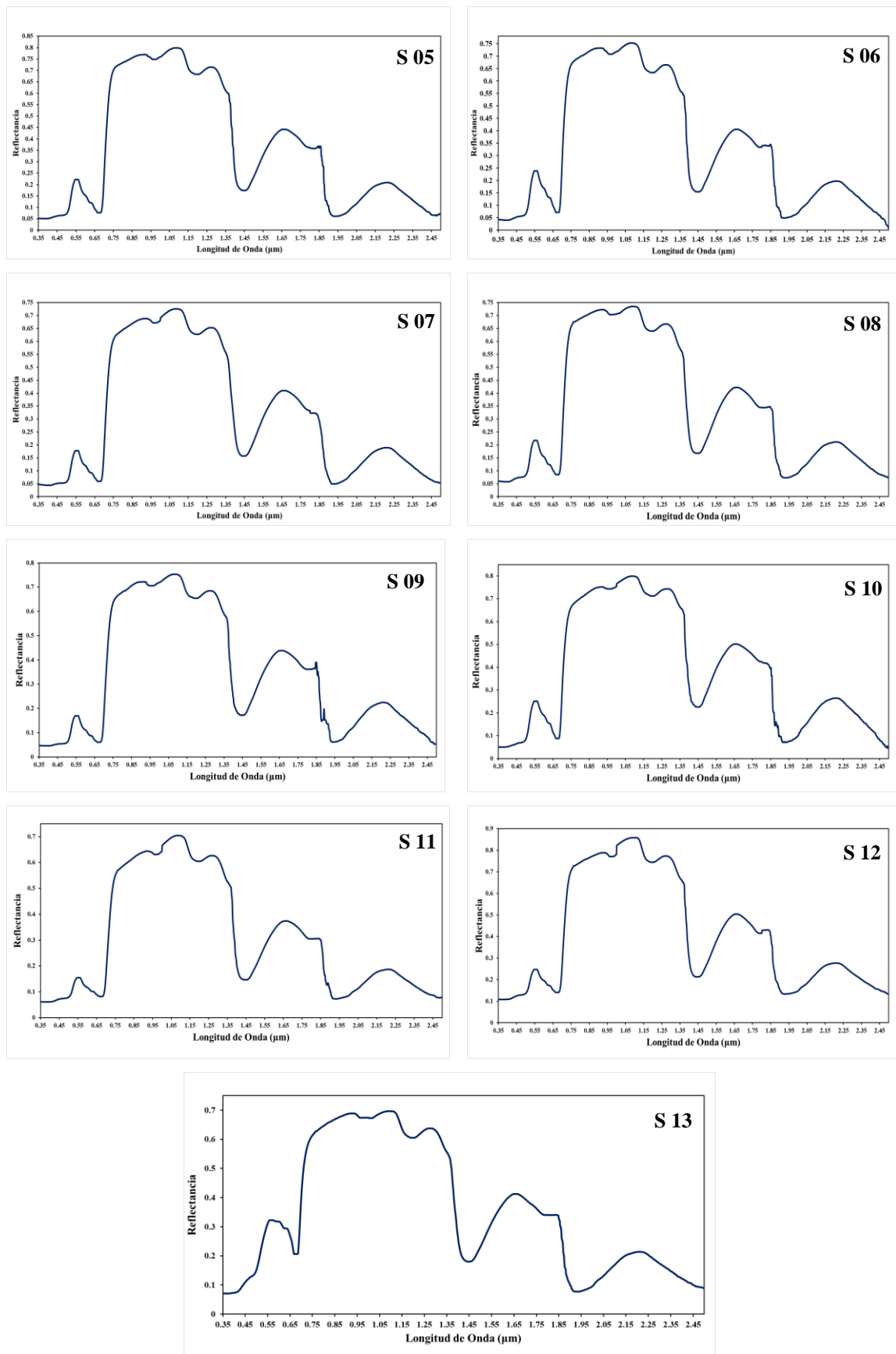




**Figura 4.1.13** Firmas espectrales de la parcela II-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela II-3-SR: En la figura 4.1.14 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3348 con una longitud de onda de  $0.567 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 02, el mínimo se da en la semana 11 con una reflectancia de 0.1545 con una longitud de onda de  $0.557 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 02 con una longitud de onda  $0.880 \mu m$  y una reflectancia de 0.8113 y un mínimo con una reflectancia 0.6424 con una longitud de onda  $0.905 \mu m$  en la semana 11, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 12 con una reflectancia de 0.8585 con una longitud de onda de  $1.083 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6963 y una longitud de onda de  $1.084 \mu m$  en la semana 13.

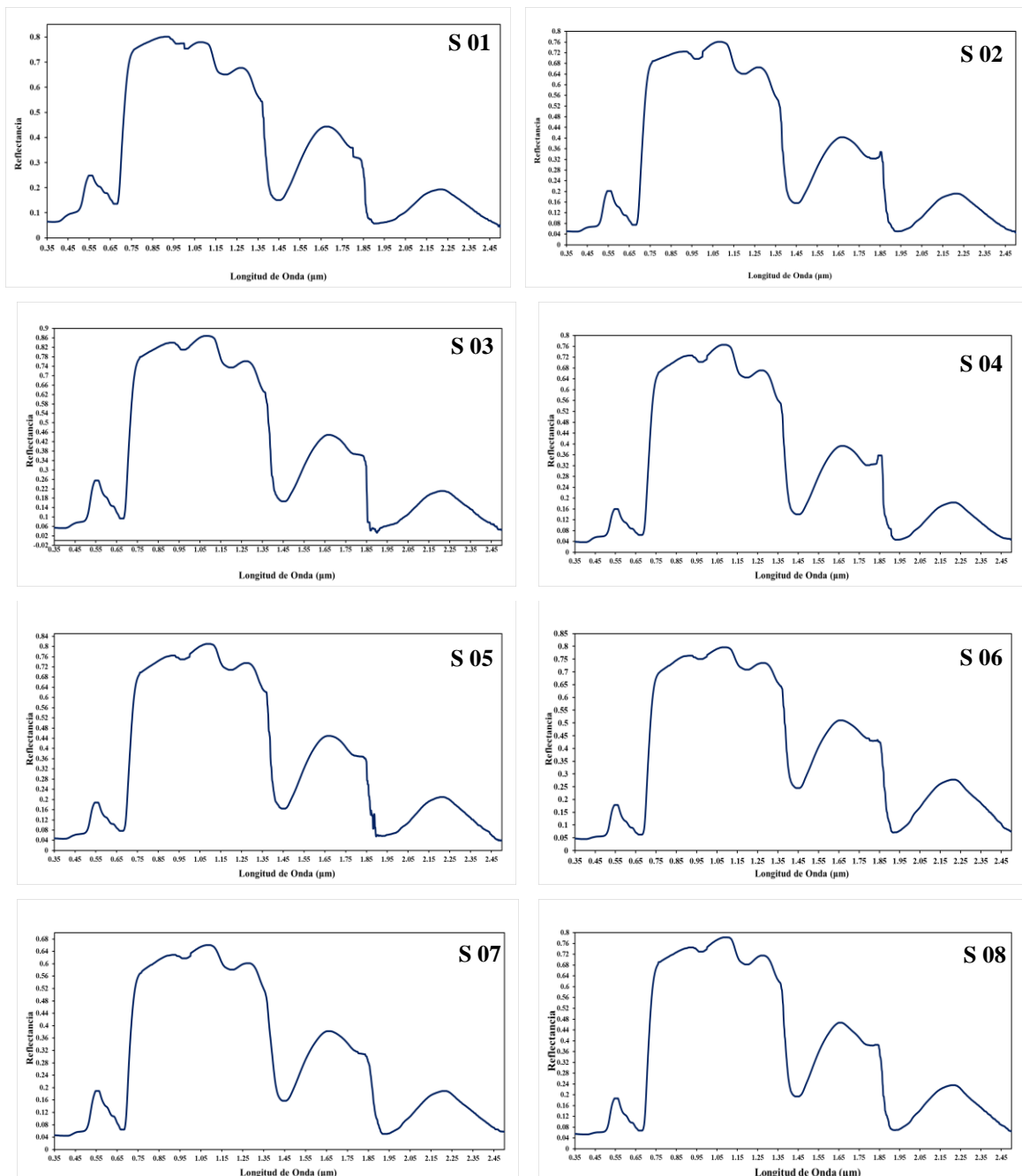


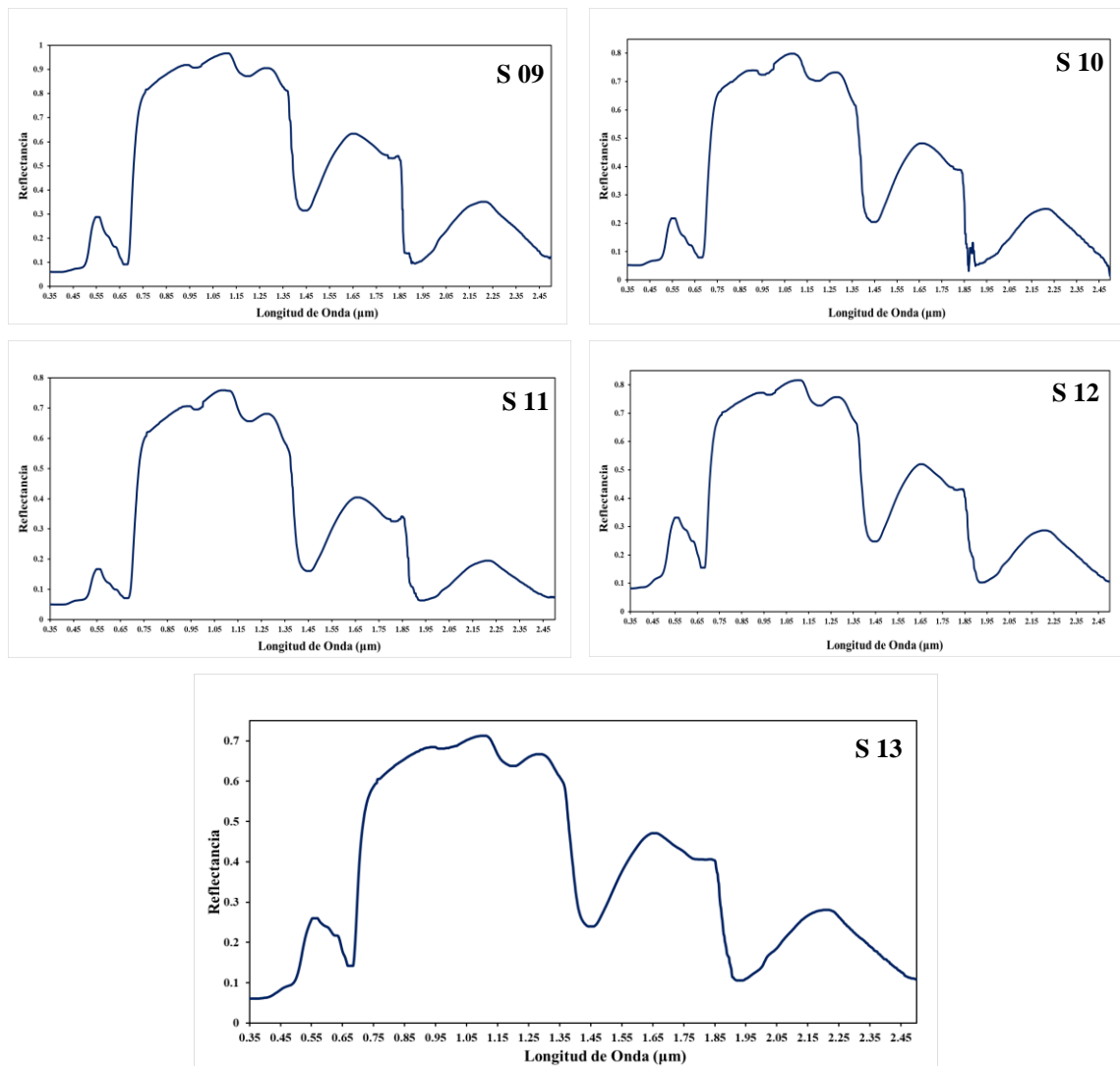


**Figura 4.14** Firmas espectrales de la parcela II-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.



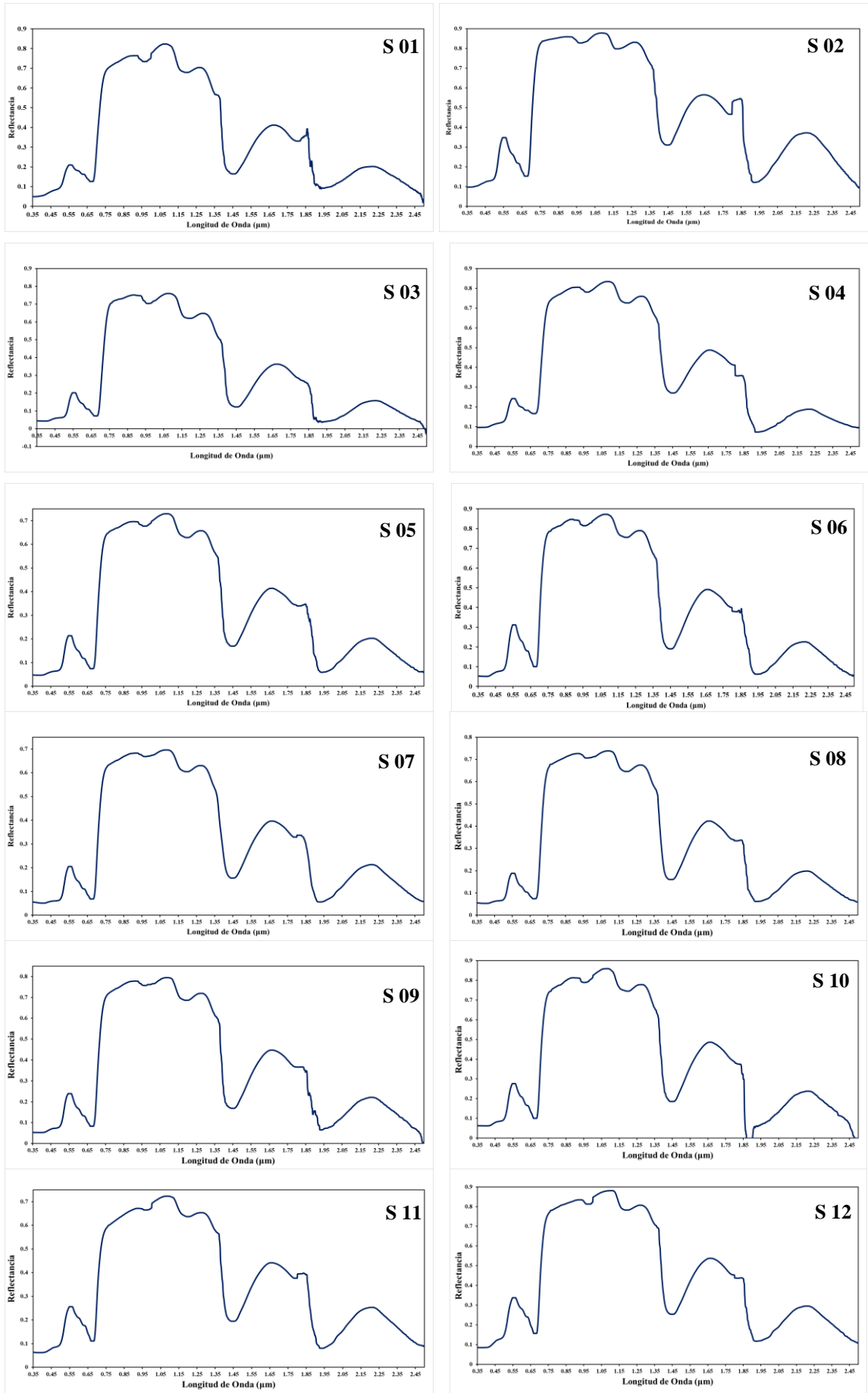
- Parcela II-4-CR: En la figura 4.1.15 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3314 con una longitud de onda de  $0.560 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 11 con una reflectancia de 0.1548 con una longitud de onda de  $0.571 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 09 con una longitud de onda  $0.921 \mu m$  y una reflectancia de 0.9164 y un mínimo con una reflectancia 0.8404 con una longitud de onda  $0.915 \mu m$  en la semana 03, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.9663 con una longitud de onda de  $1.096 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7127 y una longitud de onda de  $1.102 \mu m$  en la semana 13.

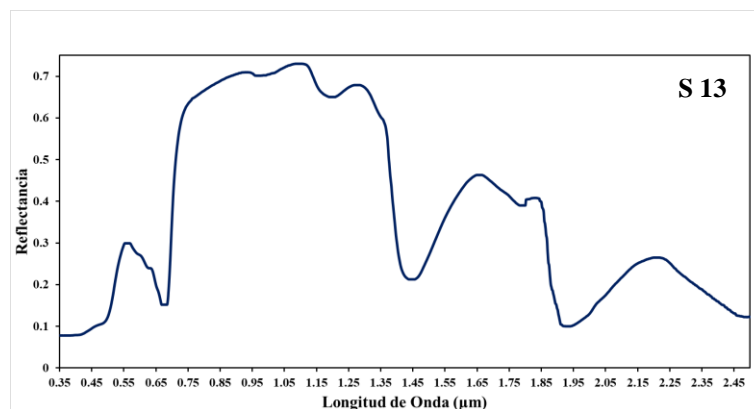




**Figura 4.1.15** Firmas espectrales de la parcela II-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

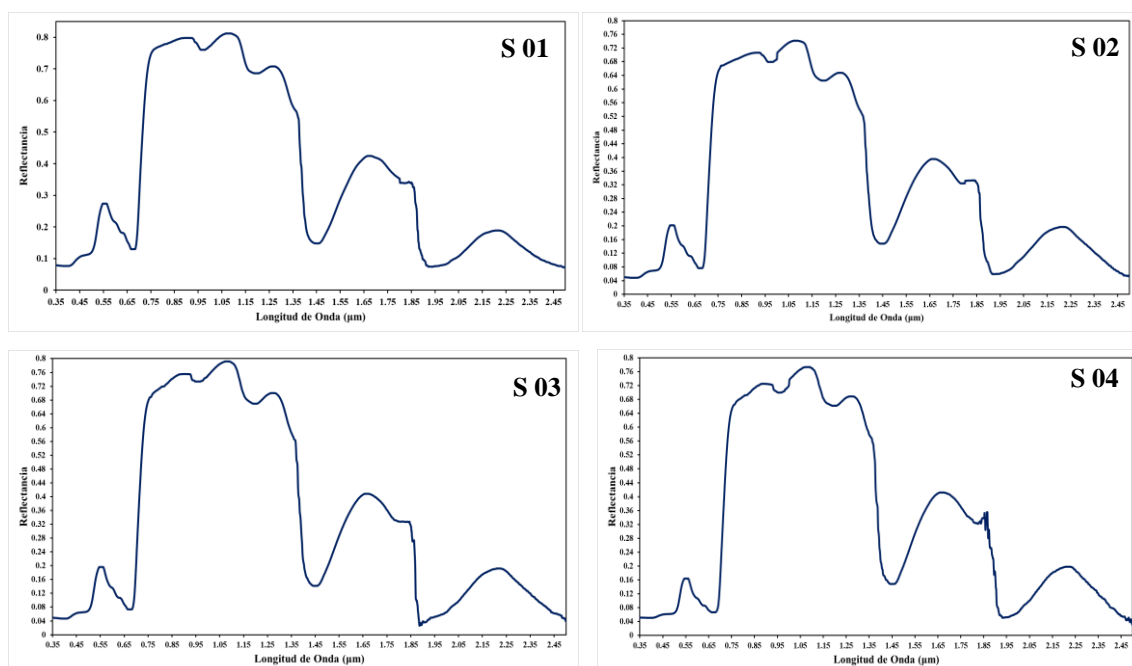
- Parcela II-4-SR: En la figura 4.1.16 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3384 con una longitud de onda de  $0.557 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 08 con una reflectancia de 0.1771 con una longitud de onda de  $0.568 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 02 con una longitud de onda  $0.890 \mu m$  y una reflectancia de 0.8597 y un mínimo con una reflectancia 0.6817 con una longitud de onda  $0.897 \mu m$  en la semana 07, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 02 con una reflectancia de 0.8790 con una longitud de onda de  $1.093 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6964 y una longitud de onda de  $1.080 \mu m$  en la semana 07.

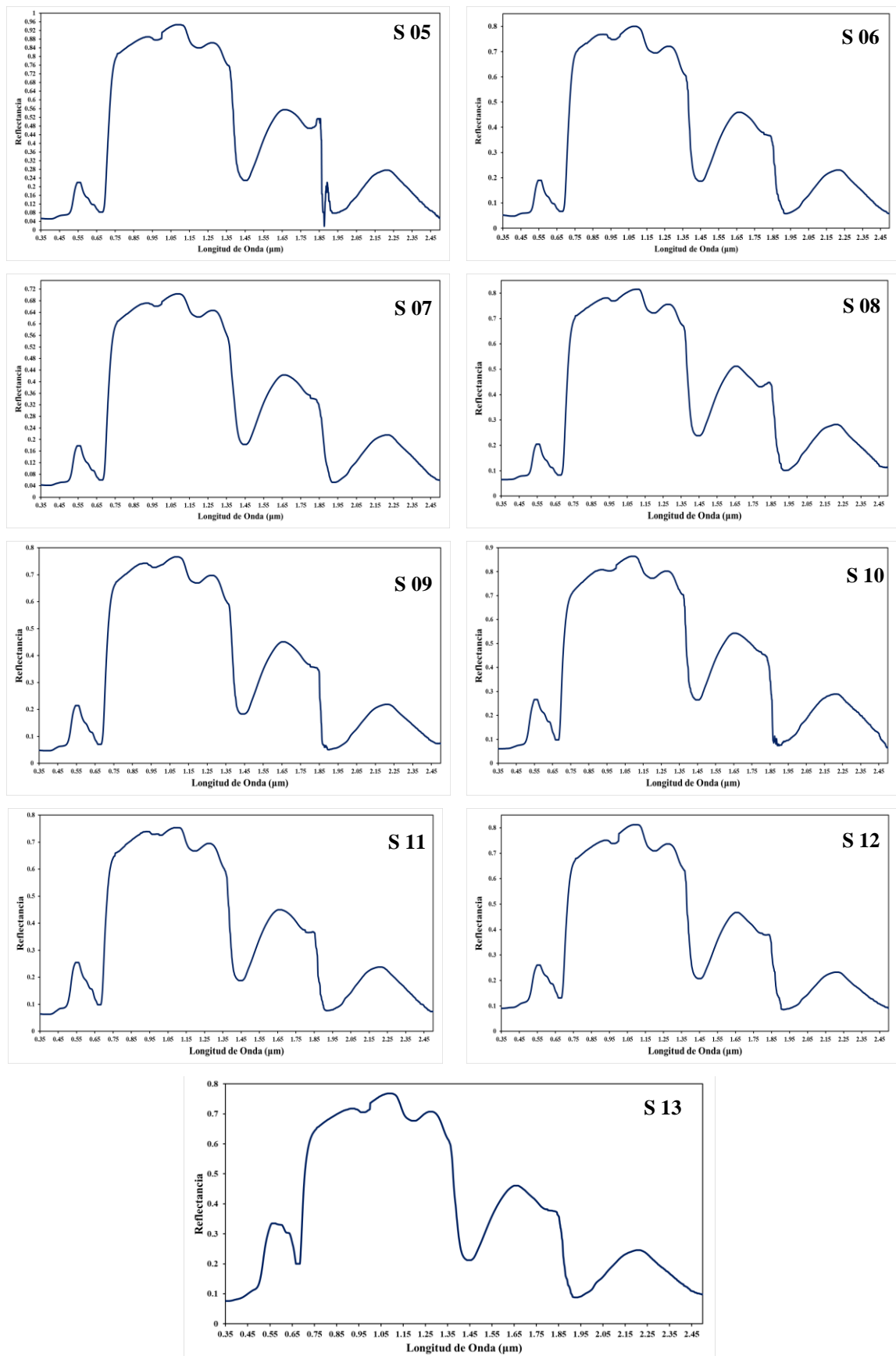




**Figura 4.1.16** Firmas espectrales de la parcela II-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

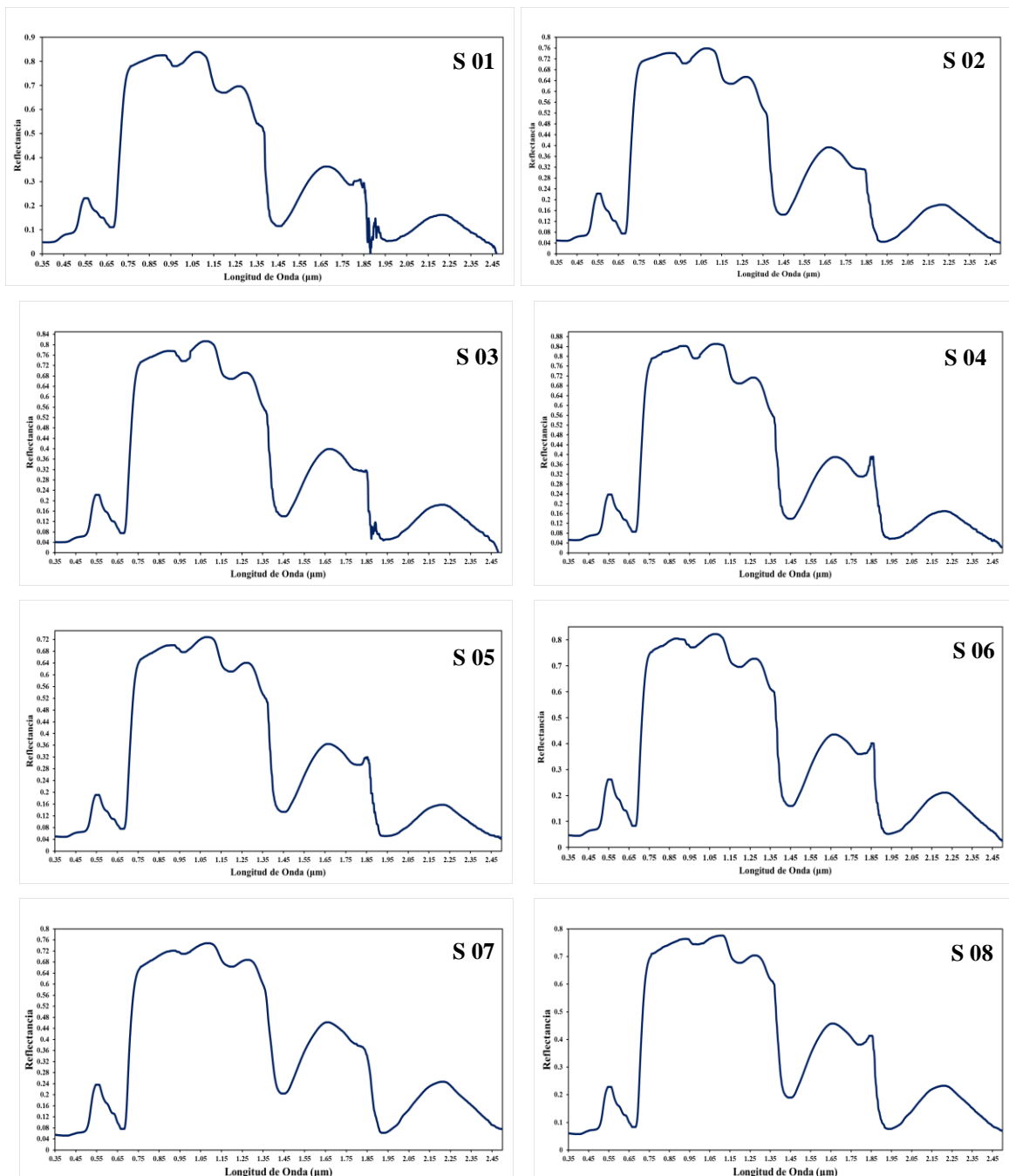
➤ Parcela III-1-CR: En la figura 4.1.17 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3343 con una longitud de onda de 0.568  $\mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.1575 con una longitud de onda de 0.565  $\mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 05 con una longitud de onda 0.903  $\mu m$  y una reflectancia de 0.8882 y un mínimo con una reflectancia 0.6691 con una longitud de onda 0.893  $\mu m$  en la semana 07, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.9472 con una longitud de onda de 1.080  $\mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7409 y una longitud de onda de 1.070  $\mu m$  en la semana 02.

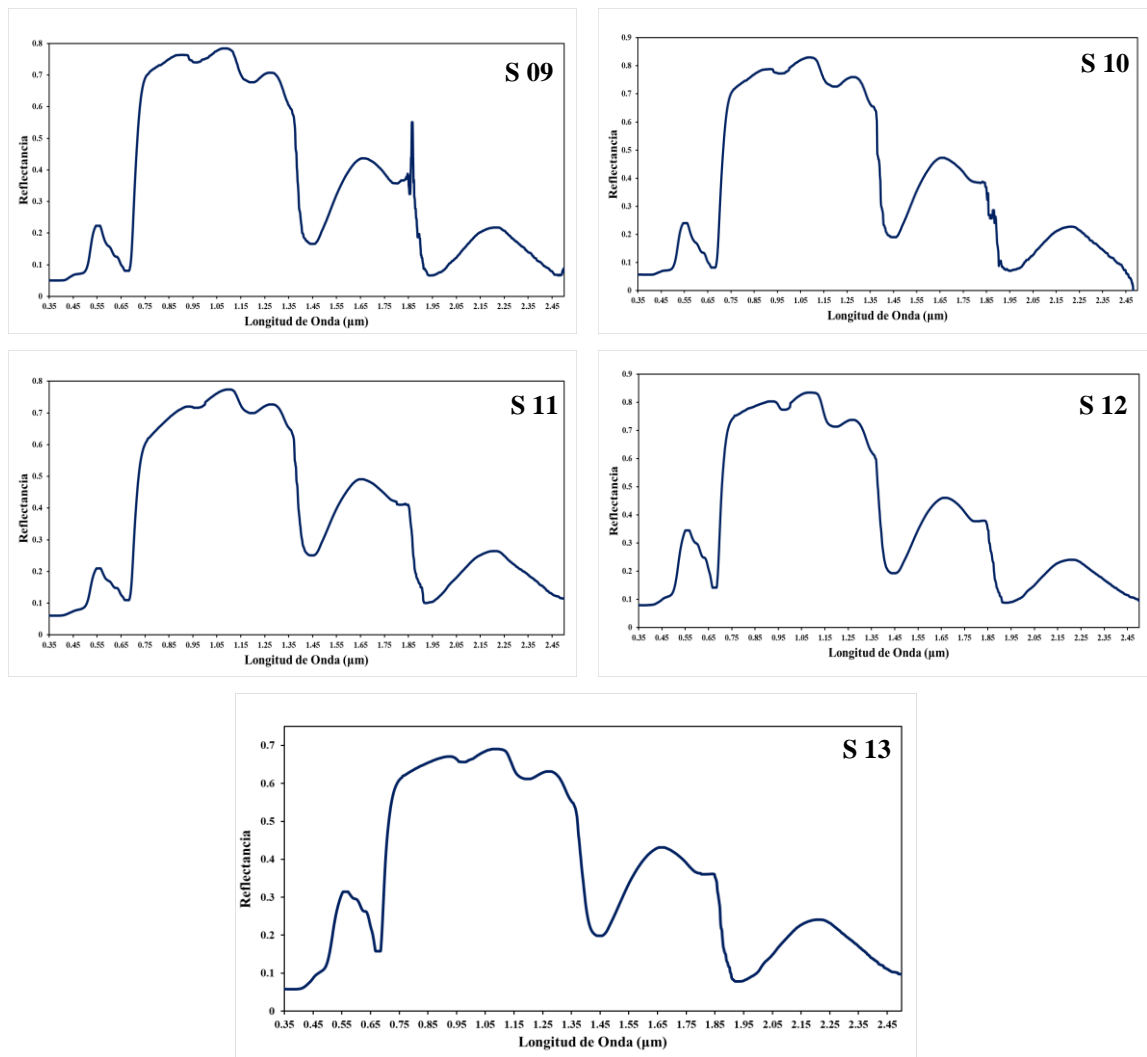




**Figura 4.17** Firmas espectrales de la parcela III-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

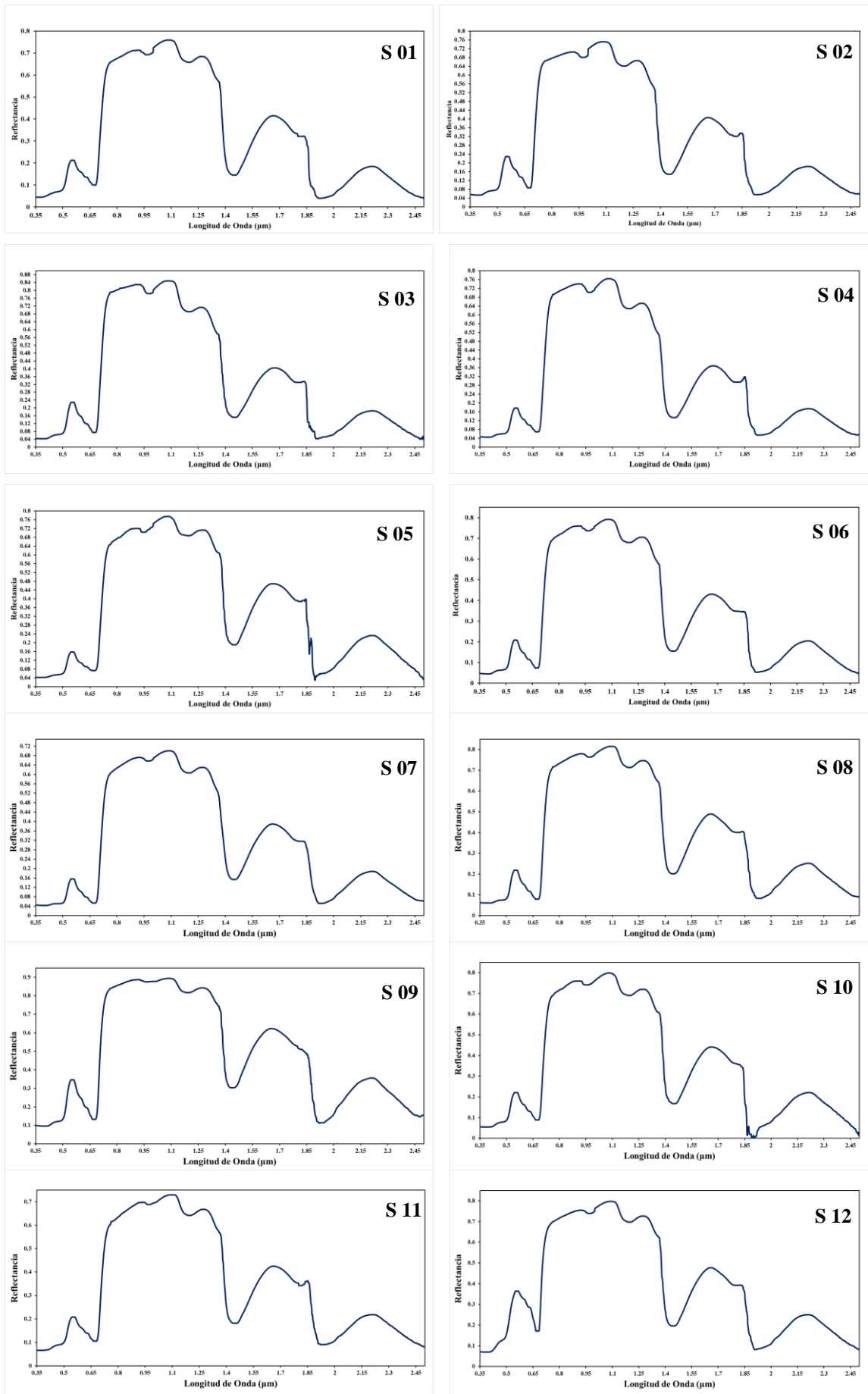
- Parcela III-1-SR: En la figura 4.1.18 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3325 con una longitud de onda de  $0.574 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1821 con una longitud de onda de  $0.568 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 04 con una longitud de onda  $0.893 \mu m$  y una reflectancia de 0.8367 y un mínimo con una reflectancia 0.6676 con una longitud de onda  $0.899 \mu m$  en la semana 13, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.8493 con una longitud de onda de  $1.063 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6884 y una longitud de onda de  $1.066 \mu m$  en la semana 13.



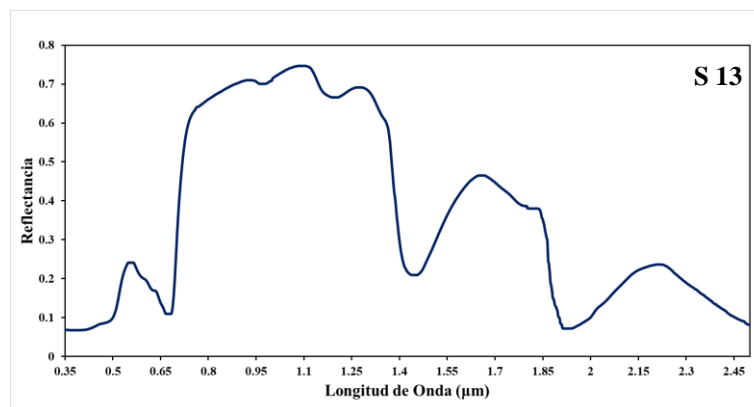


**Figura 4.1.18** Firmas espectrales de la parcela III-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela III-2-CR: En la figura 4.1.19 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3567 con una longitud de onda de  $0.573 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1478 con una longitud de onda de  $0.568 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 09 con una longitud de onda  $0.896 \mu m$  y una reflectancia de 0.8859 y un mínimo con una reflectancia 0.6716 con una longitud de onda  $0.911 \mu m$  en la semana 07, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.8940 con una longitud de onda de  $1.080 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6992 y una longitud de onda de  $1.071 \mu m$  en la semana 07.

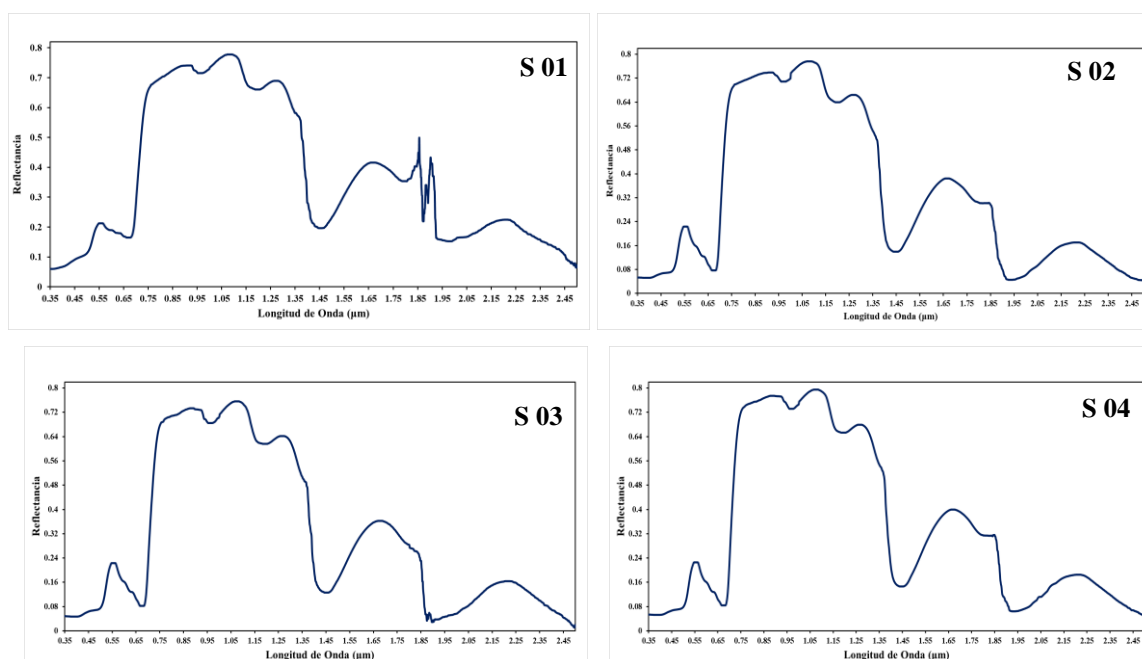


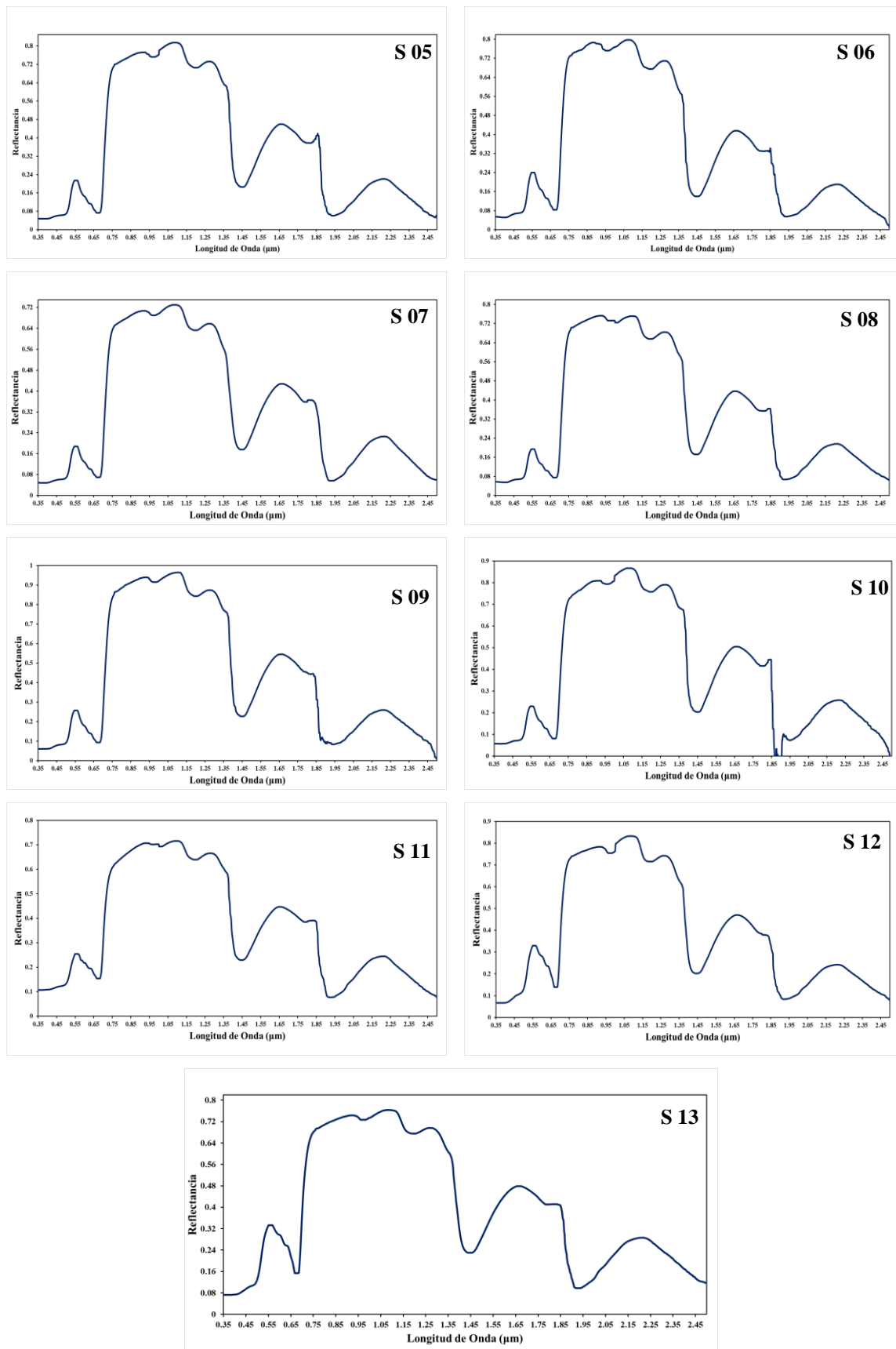




**Figura 4.1.19** Firmas espectrales de la parcela III-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

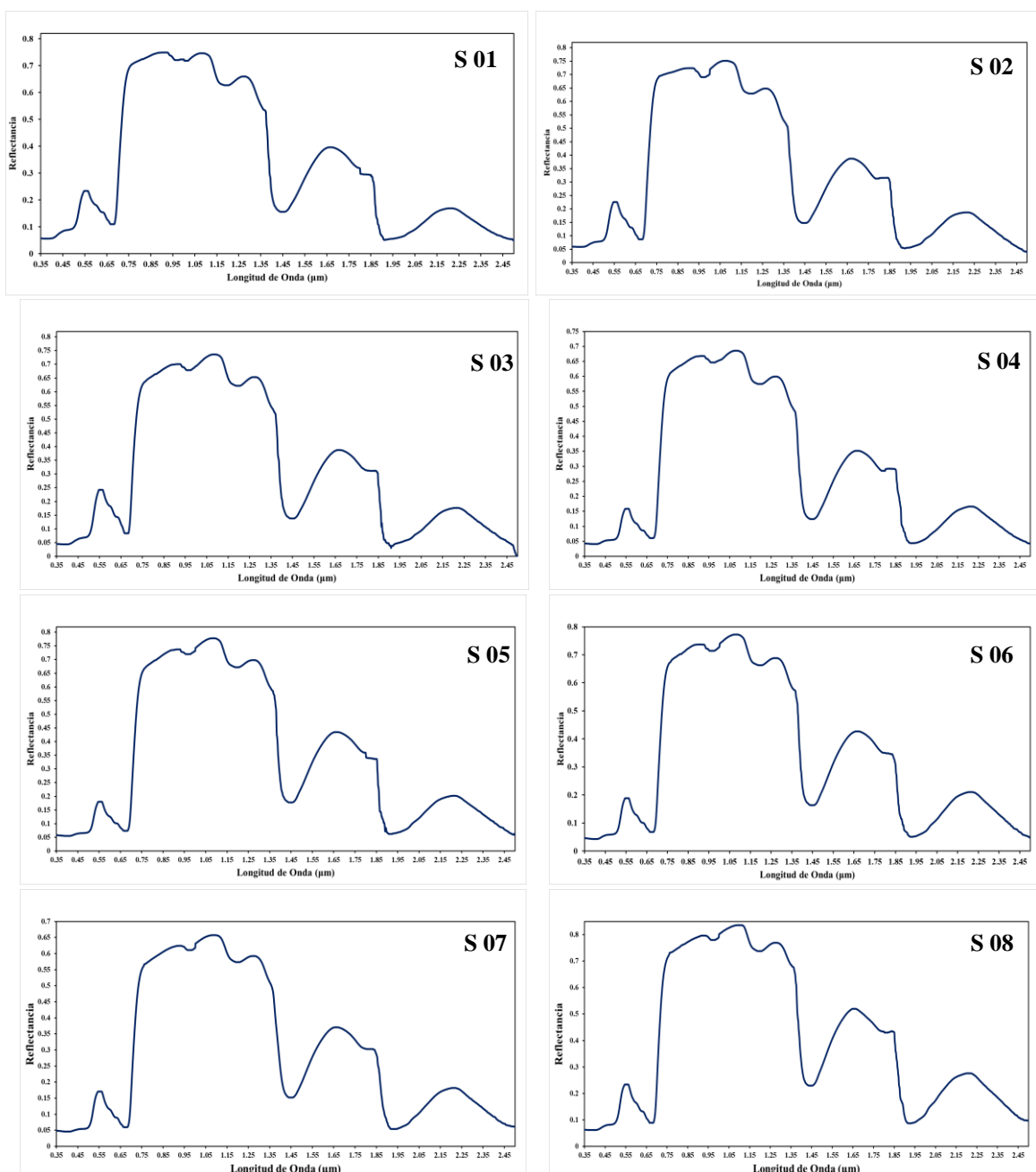
- Parcela III-2-SR: En la figura 4.1.20 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3288 con una longitud de onda de  $0.571 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 07 con una reflectancia de 0.1779 con una longitud de onda de  $0.567 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 09 con una longitud de onda  $0.907 \mu m$  y una reflectancia de 0.9363 y un mínimo con una reflectancia 0.7047 con una longitud de onda  $0.913 \mu m$  en la semana 11, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.9639 con una longitud de onda de  $1.094 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7158 y una longitud de onda de  $1.085 \mu m$  en la semana 11.

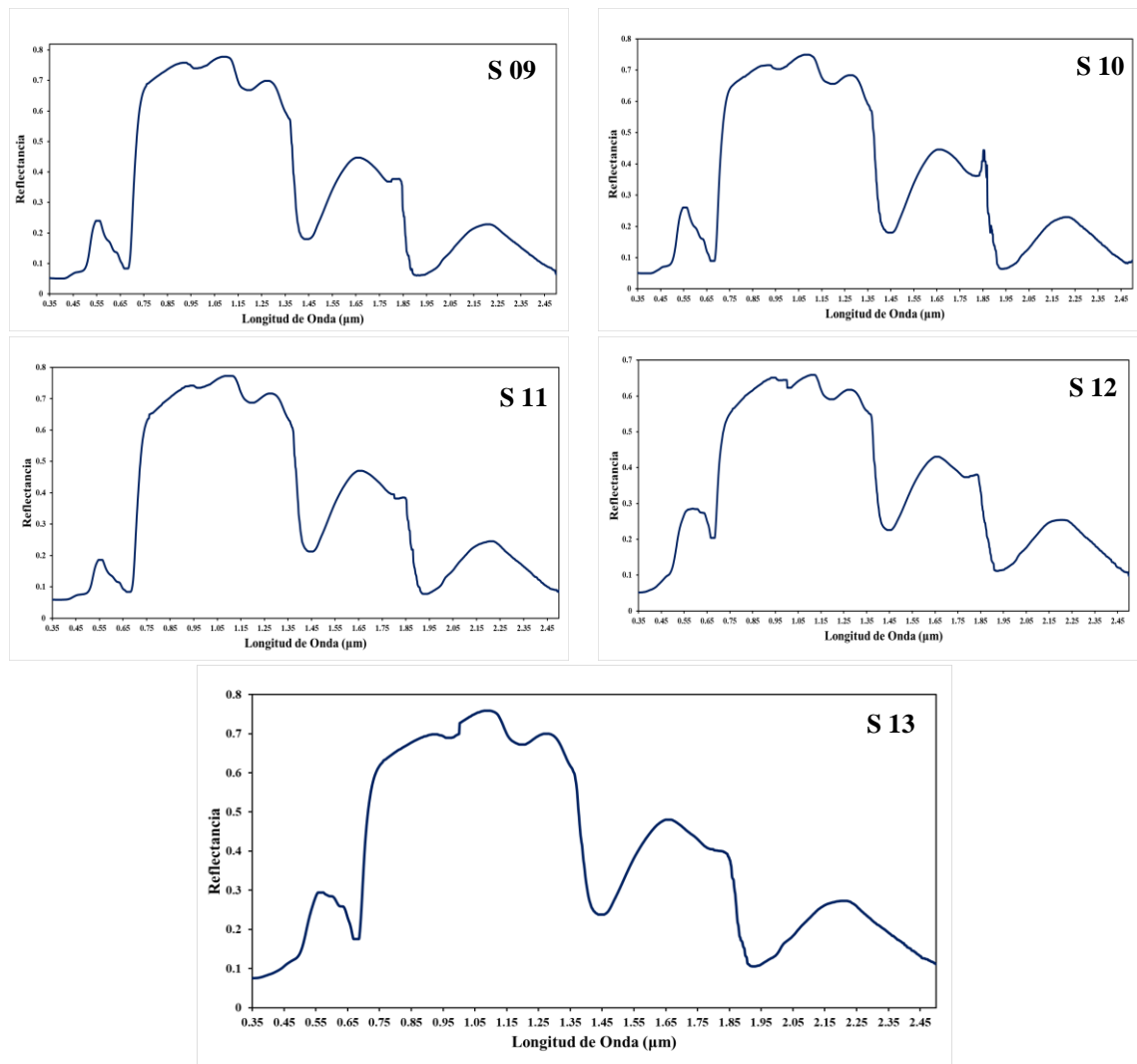




**Figura 4.1.20** Firmas espectrales de la parcela III-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

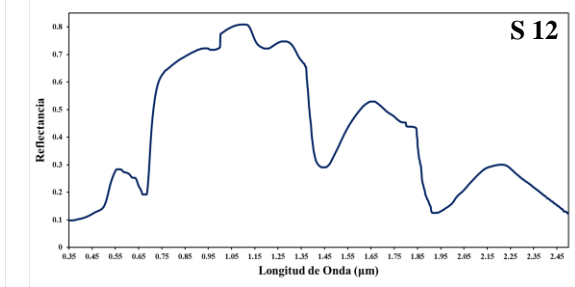
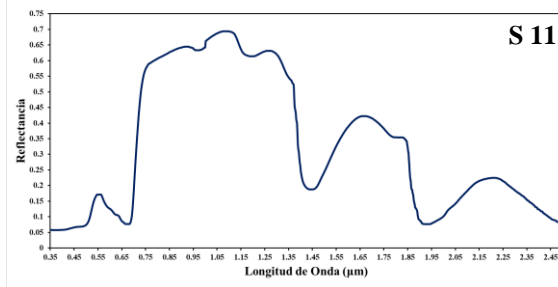
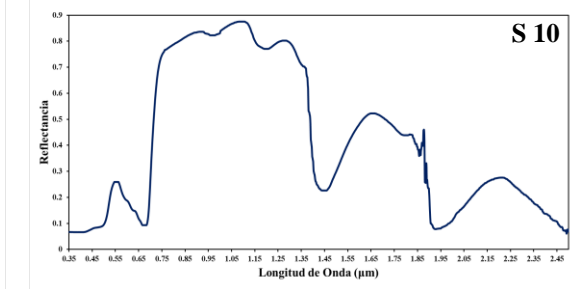
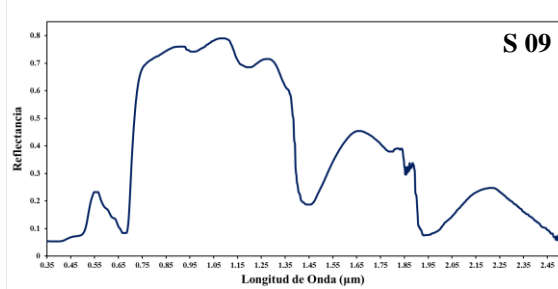
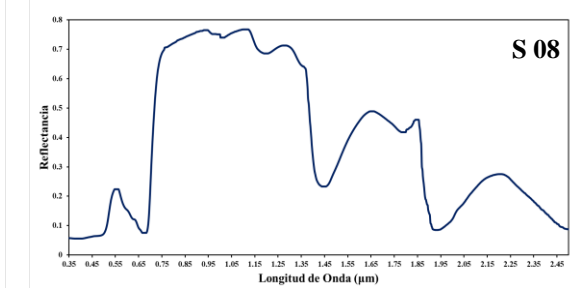
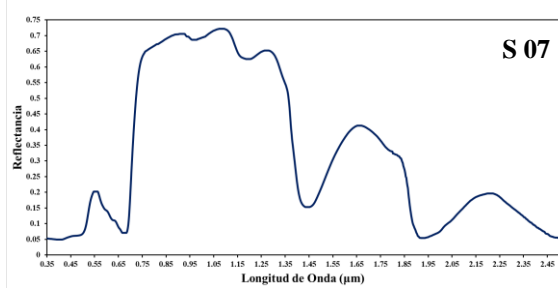
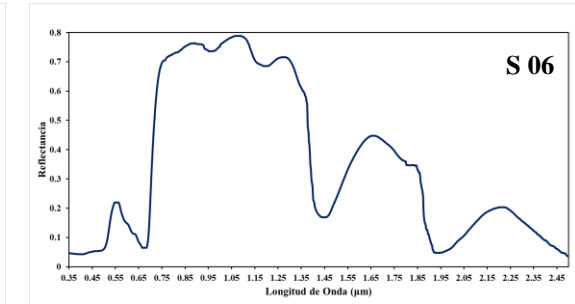
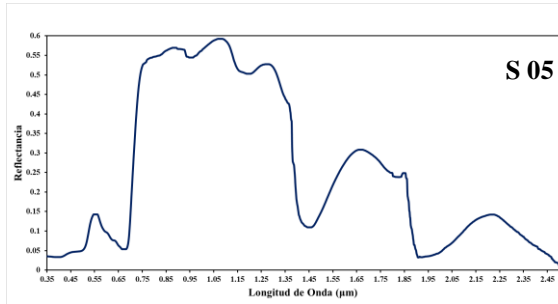
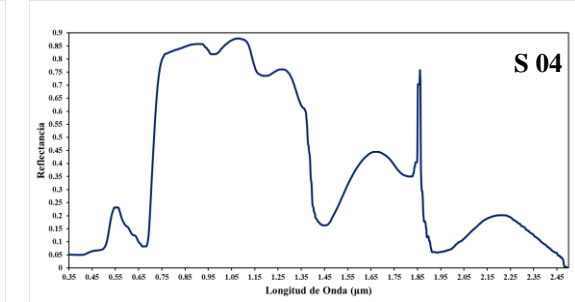
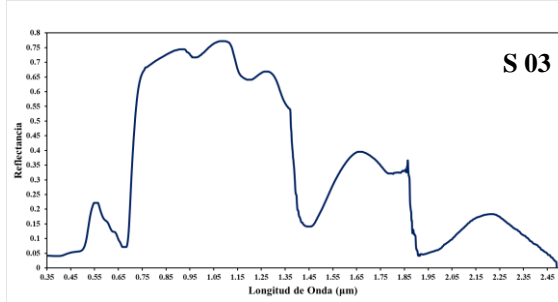
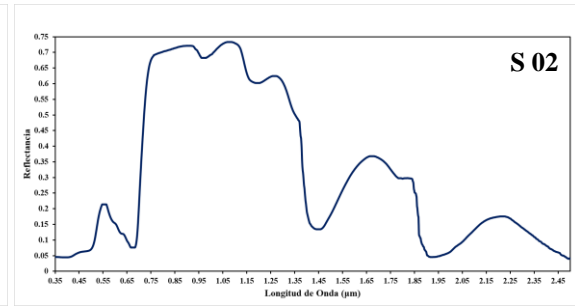
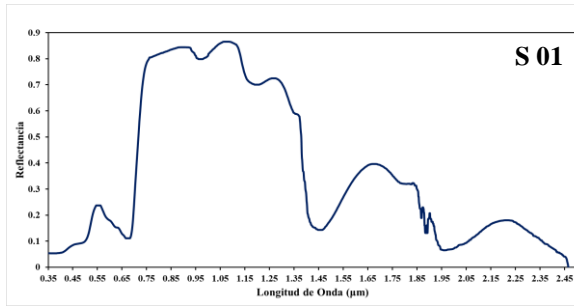
➤ Parcela III-3-CR: En la figura 4.1.21 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2901 con una longitud de onda de  $0.579 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.1554 con una longitud de onda de  $0.565 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 08 con una longitud de onda de  $0.897 \mu m$  y una reflectancia de 0.7903 y un mínimo con una reflectancia 0.6512 con una longitud de onda  $0.940 \mu m$  en la semana 12, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 08 con una reflectancia de 0.8349 con una longitud de onda de  $1.082 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6577 y una longitud de onda de  $1.100 \mu m$  en la semana 12.

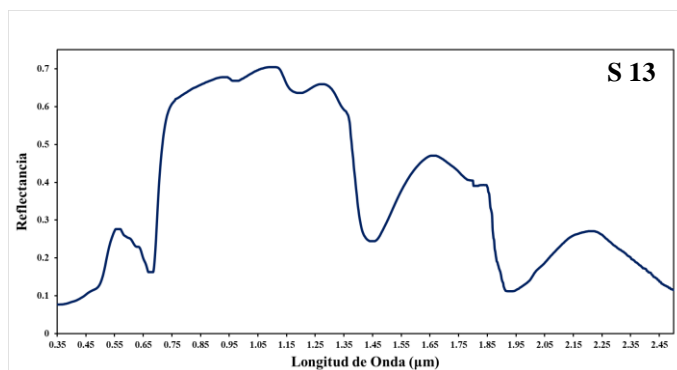




**Figura 4.1.21** Firmas espectrales de la parcela III-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

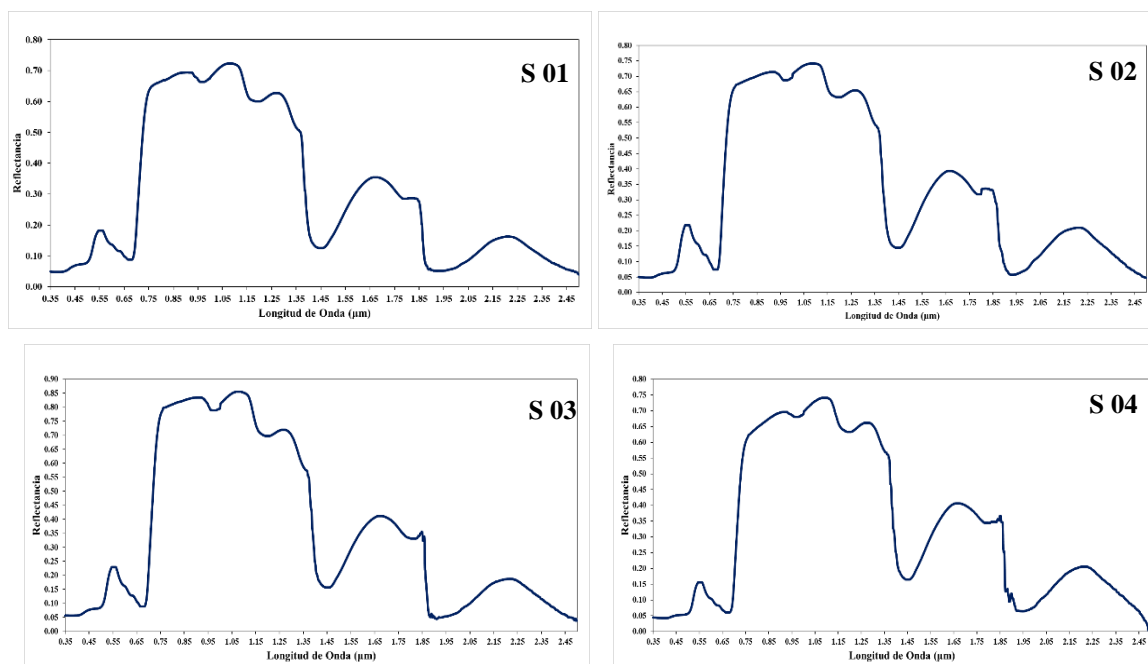
- Parcela III-3-SR: En la figura 4.1.22 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2790 con una longitud de onda de  $0.579 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1383 con una longitud de onda de  $0.565 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 01 con una longitud de onda  $0.877 \mu m$  y una reflectancia de 0.8427 y un mínimo con una reflectancia 0.6399 con una longitud de onda  $0.888 \mu m$  en la semana 11, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.8760 con una longitud de onda de  $1.059 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.5914 y una longitud de onda de  $1.062 \mu m$  en la semana 05.

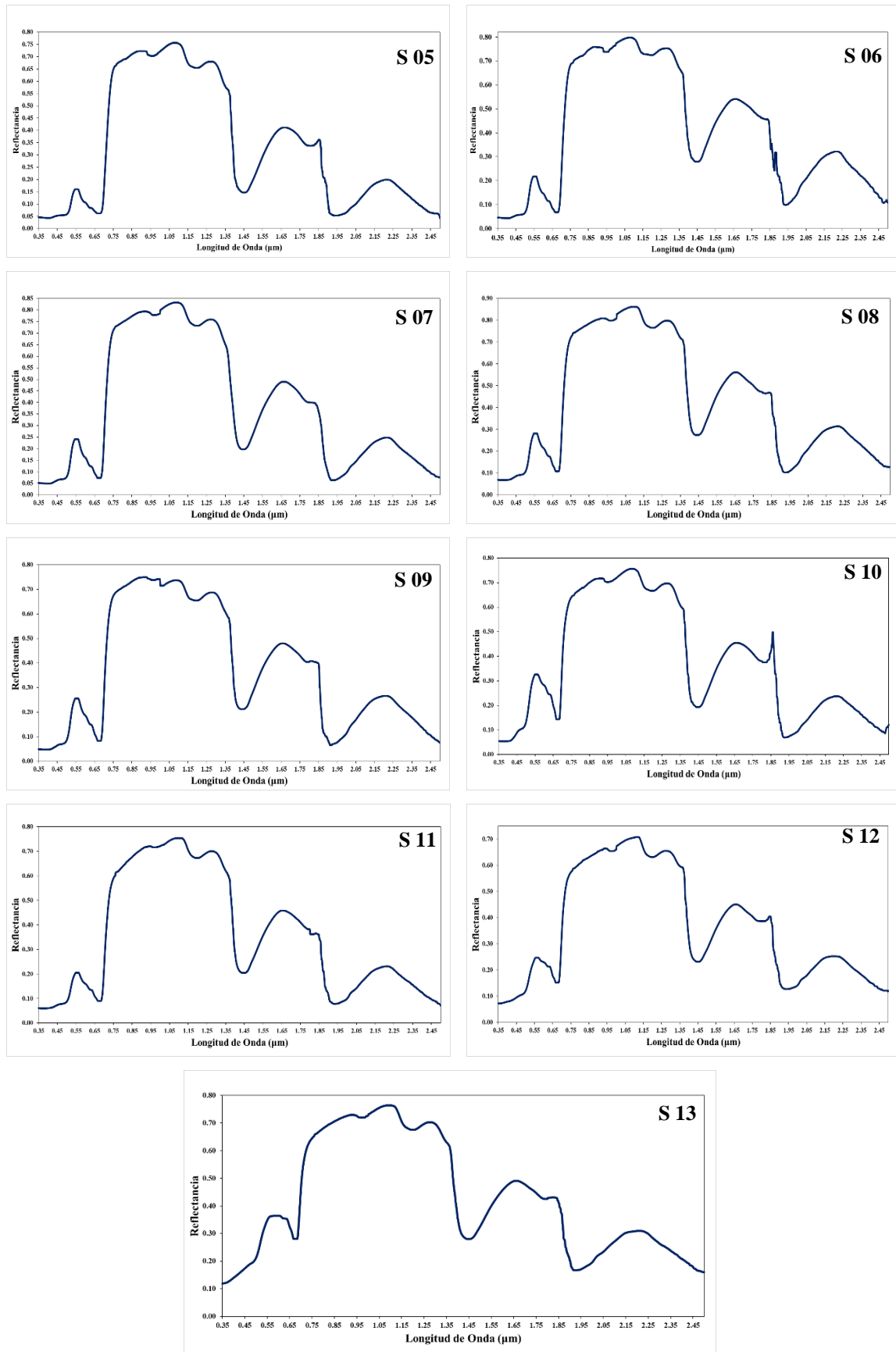




**Figura 4.1.22** Firmas espectrales de la parcela III-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

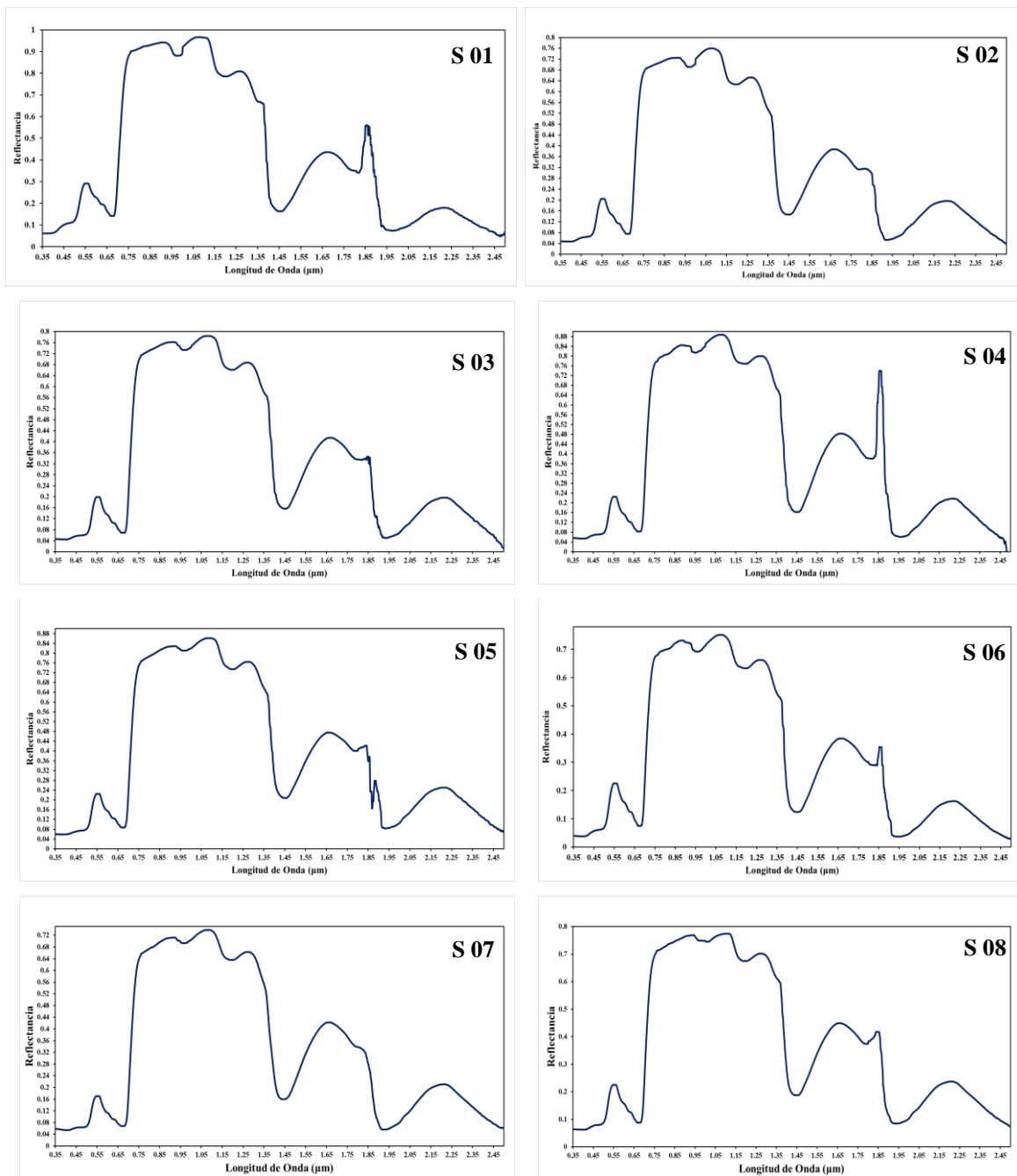
➤ Parcela III-4-CR: En la figura 4.1.23 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3640 con una longitud de onda de 0.586  $\mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1461 con una longitud de onda de 0.569  $\mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 08 con una longitud de onda 0.916  $\mu m$  y una reflectancia de 0.8088 y un mínimo con una reflectancia 0.6916 con una longitud de onda 0.886  $\mu m$  en la semana 04, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 03 con una reflectancia de 0.8560 con una longitud de onda de 1.074  $\mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7084 y una longitud de onda de 1.113  $\mu m$  en la semana 12.



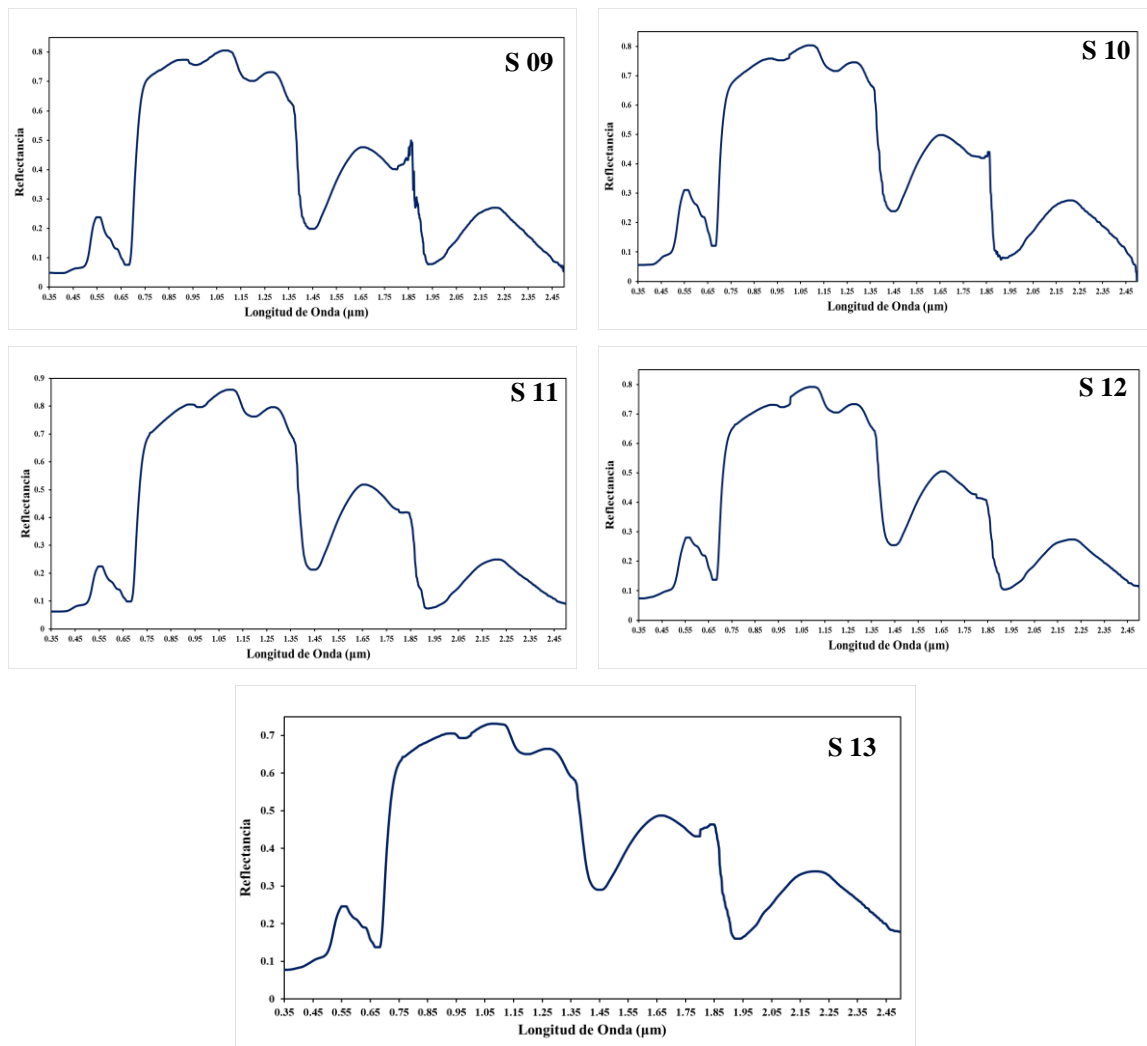


**Figura 4.1.23** Firmas espectrales de la parcela III-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela III-4-SR: En la figura 4.1.24 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3022 con una longitud de onda de  $0.571 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 10, el mínimo se da en la semana 07 con una reflectancia de 0.1650 con una longitud de onda de  $0.565 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 01 con una longitud de onda  $0.914 \mu m$  y una reflectancia de 0.9412 y un mínimo con una reflectancia 0.7037 con una longitud de onda  $0.908 \mu m$  en la semana 13, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 01 con una reflectancia de 0.9658 con una longitud de onda de  $1.072 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7295 y una longitud de onda de  $1.057 \mu m$  en la semana 13.

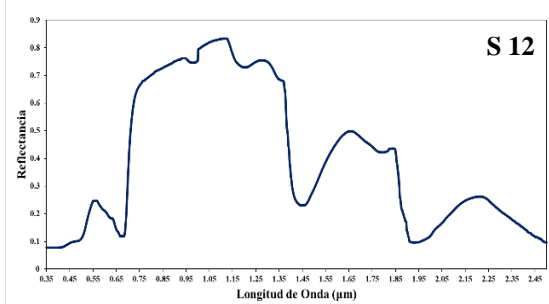
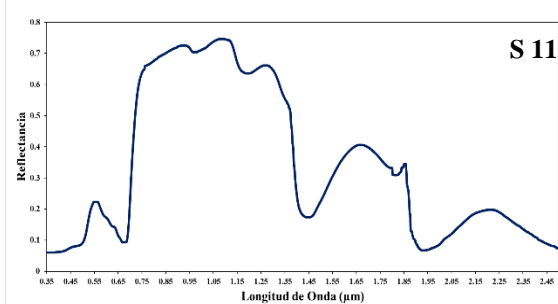
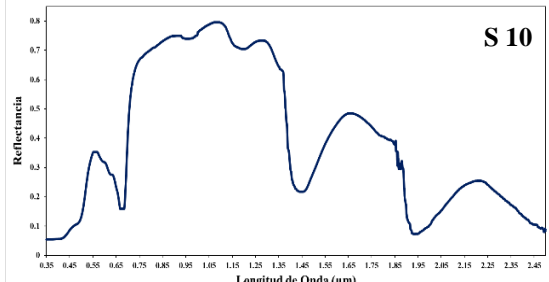
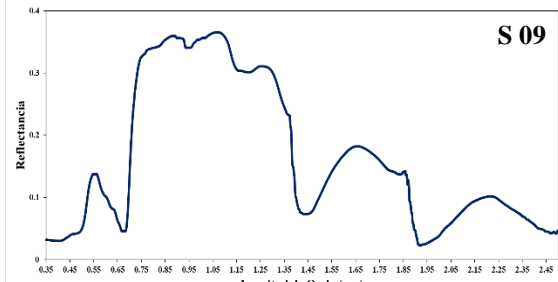
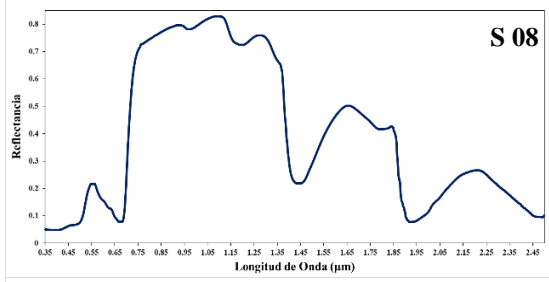
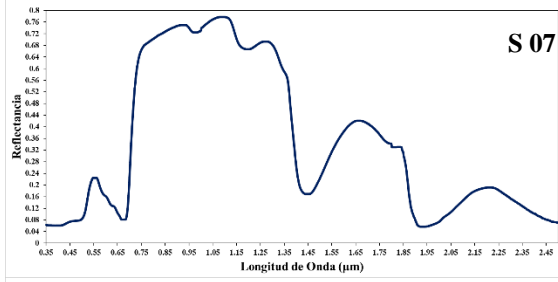
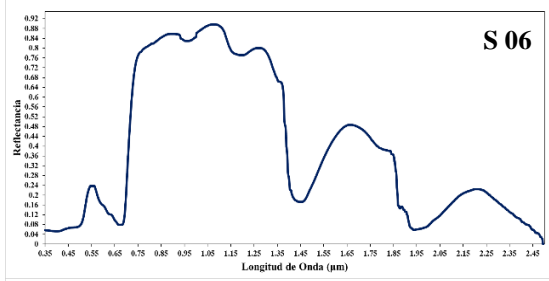
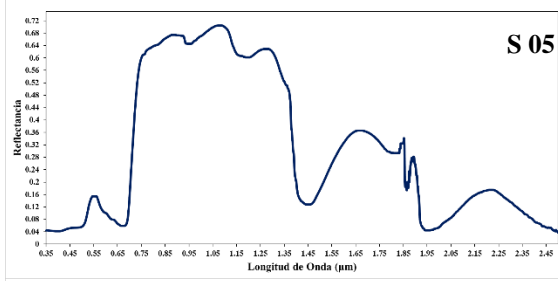
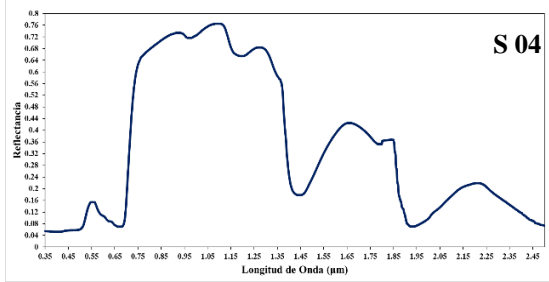
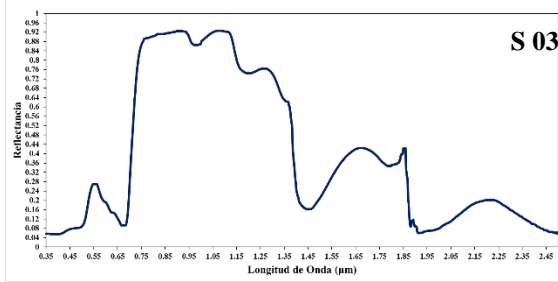
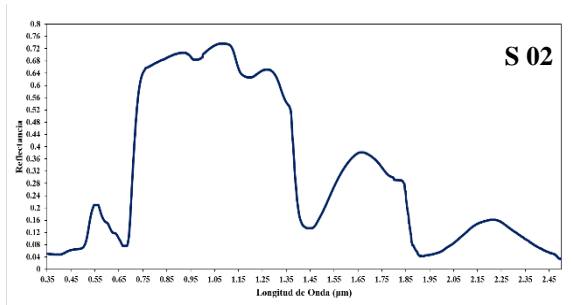
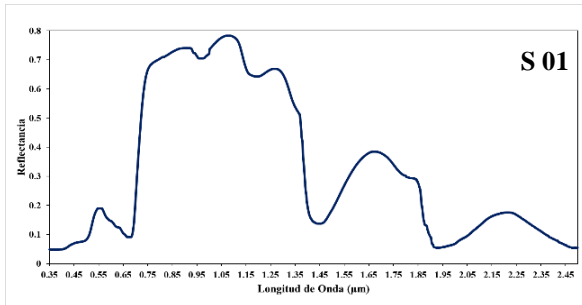


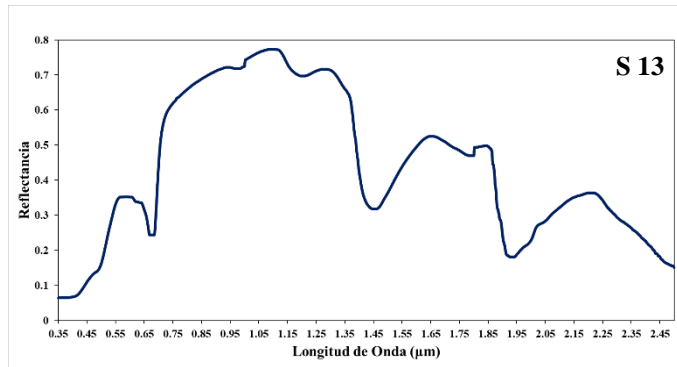




**Figura 4.1.24** Firmas espectrales de la parcela III-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

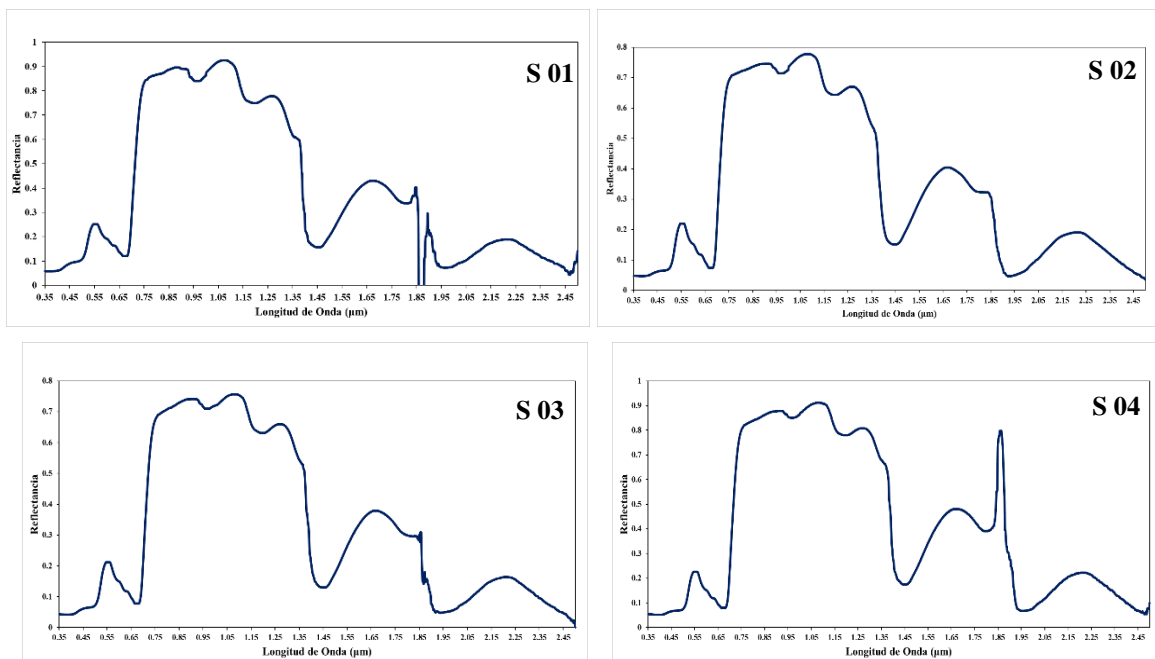
- Parcela IV-1-CR: En la figura 4.1.25 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3524 con una longitud de onda de  $0.591 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.1346 con una longitud de onda de  $0.566 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 03 con una longitud de onda  $0.891 \mu m$  y una reflectancia de 0.9217 y un mínimo con una reflectancia 0.3573 con una longitud de onda  $0.896 \mu m$  en la semana 09, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 03 con una reflectancia de 0.9190 con una longitud de onda de  $1.048 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.3650 y una longitud de onda de  $1.060 \mu m$  en la semana 09.

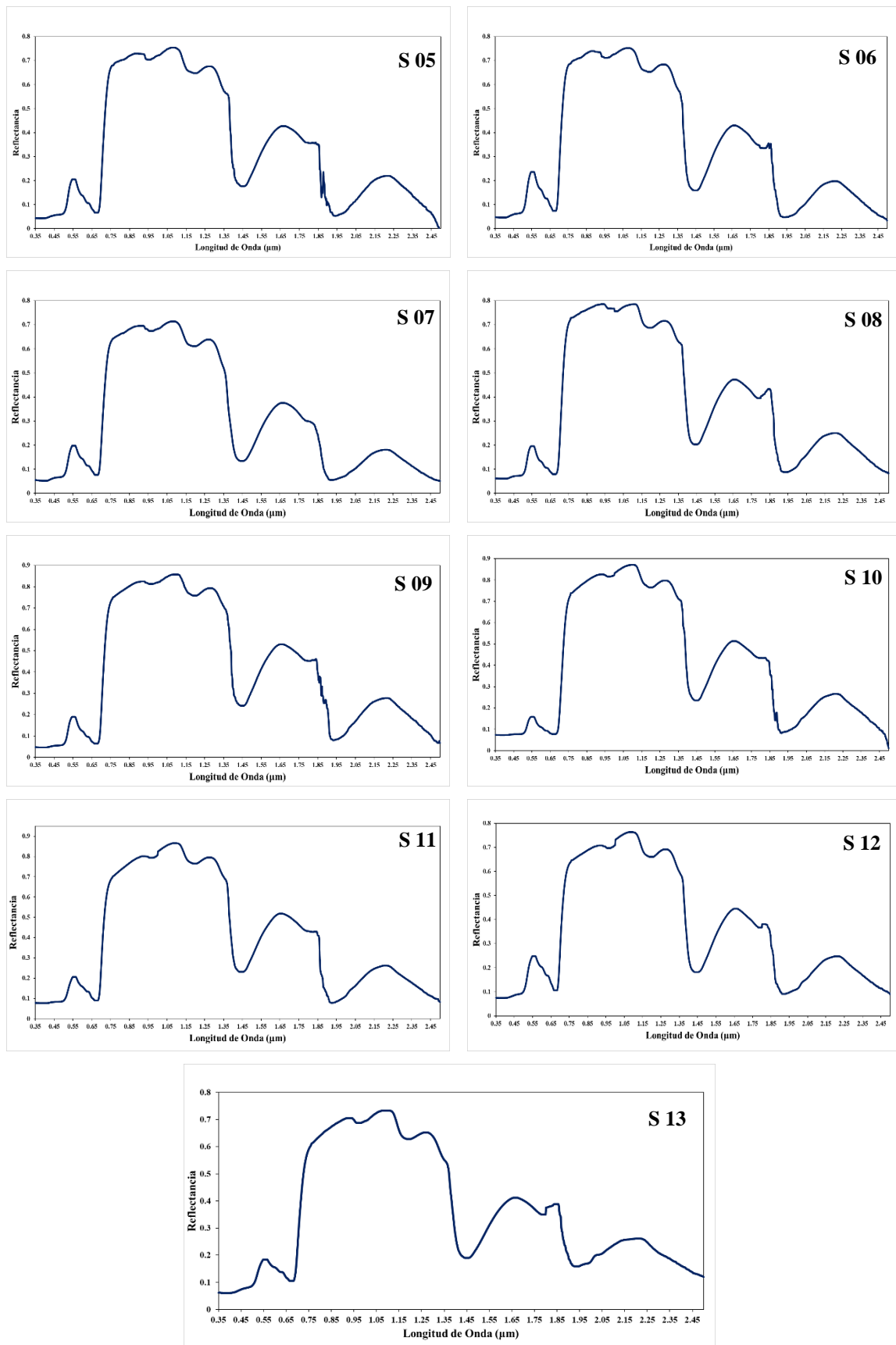




**Figura 4.1.25** Firmas espectrales de la parcela IV-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

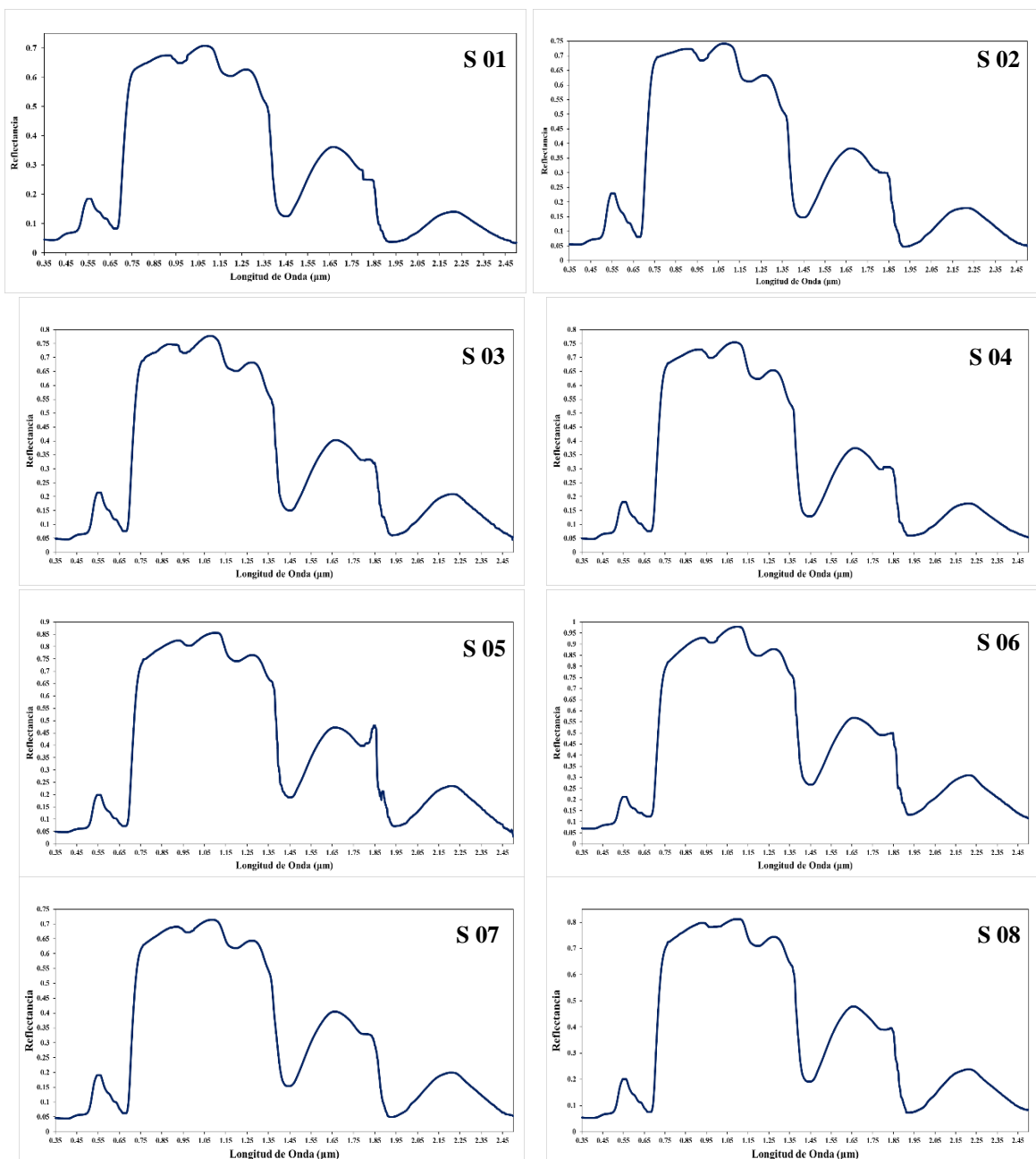
- Parcela IV-1-SR: En la figura 4.1.26 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2391 con una longitud de onda de 0.569  $\mu m$  en el verde y se da durante la semana 01, el mínimo se da en la semana 10 con una reflectancia de 0.1473 con una longitud de onda de 0.568  $\mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 01 con una longitud de onda 0.899  $\mu m$  y una reflectancia de 0.8940 y un mínimo con una reflectancia 0.6947 con una longitud de onda 0.895  $\mu m$  en la semana 07, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 01 con una reflectancia de 0.9262 con una longitud de onda de 1.075  $\mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7139 y una longitud de onda de 1.078  $\mu m$  en la semana 07.

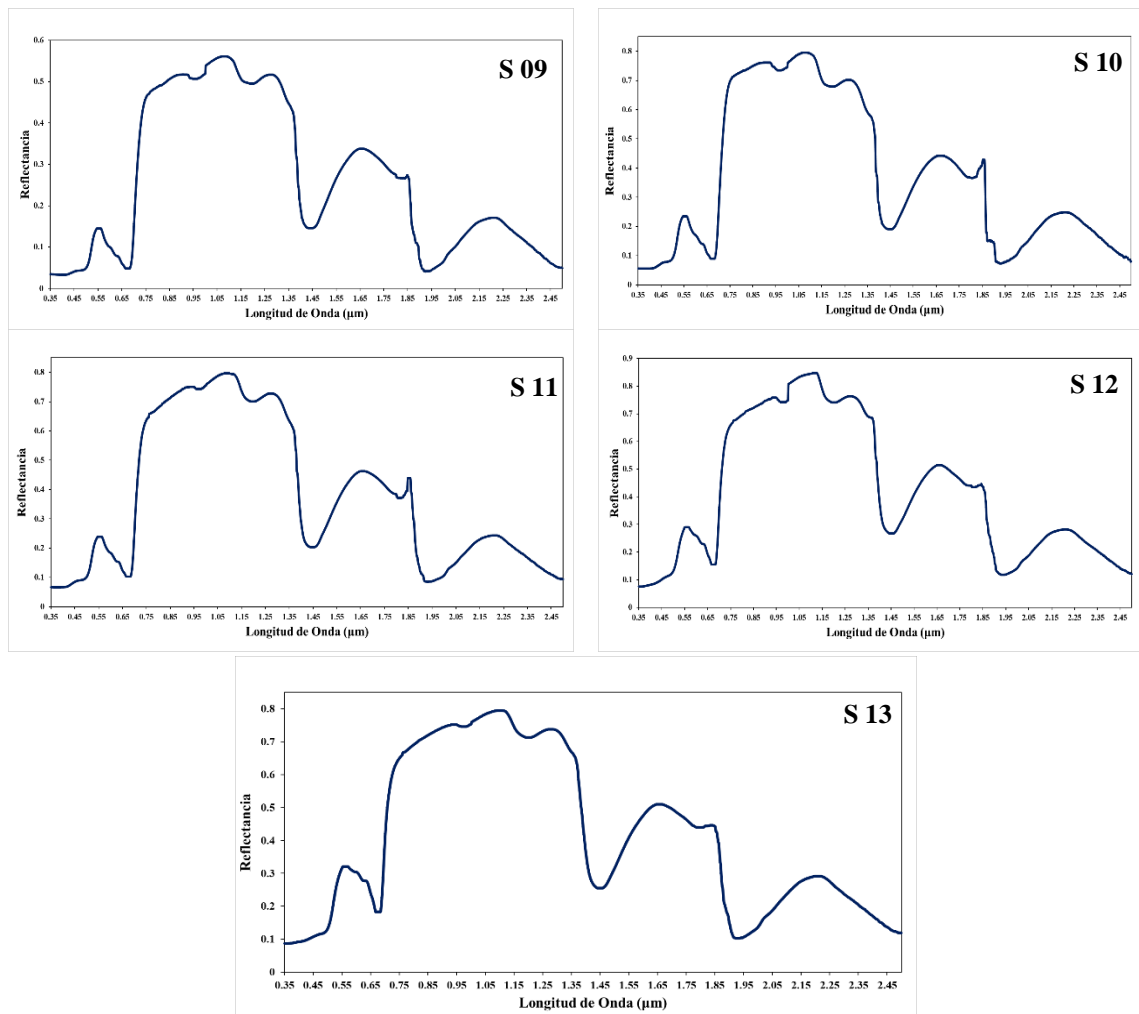




**Figura 4.1.26** Firmas espectrales de la parcela IV-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

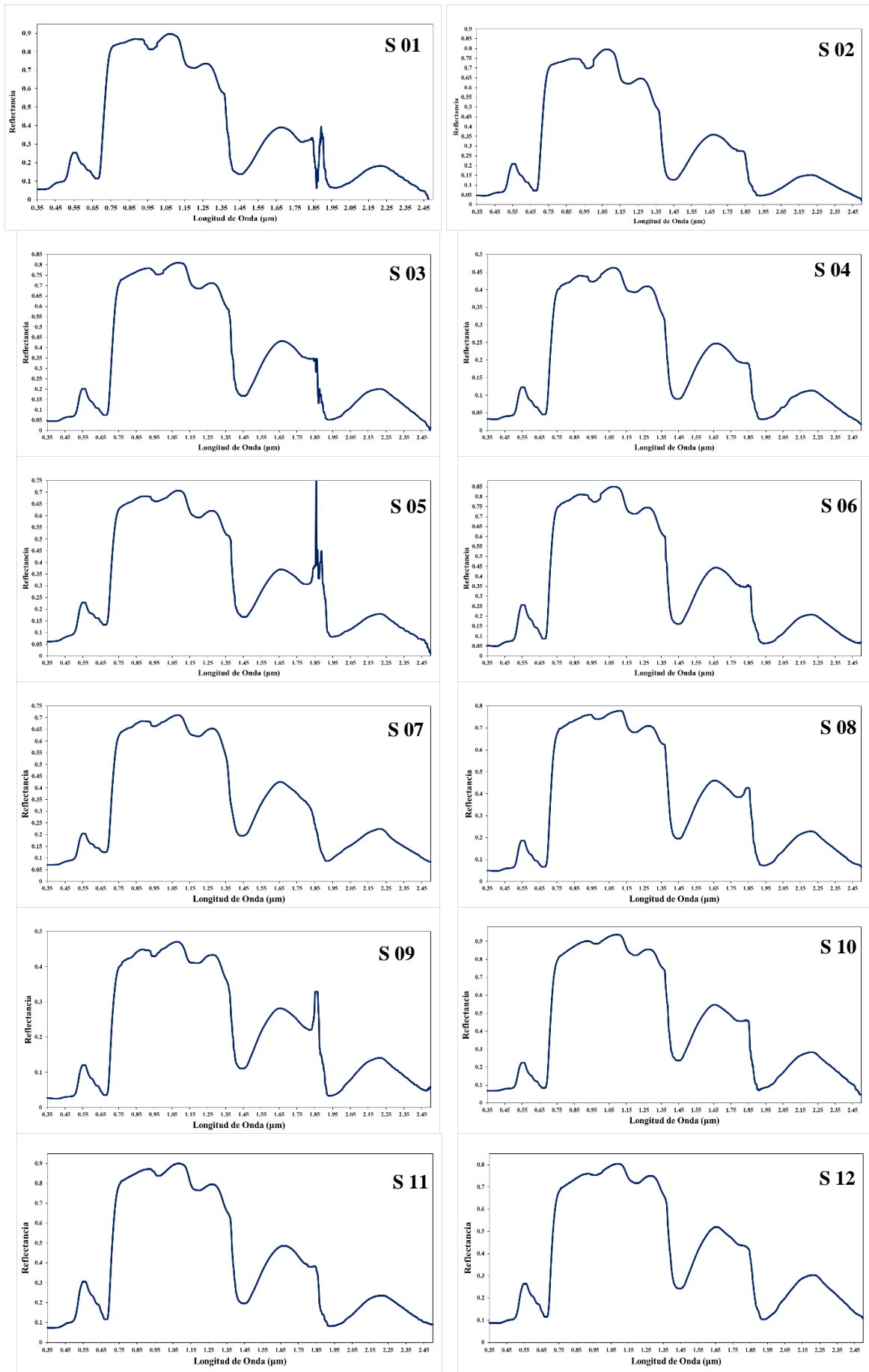
- Parcela IV-2-CR: En la figura 4.1.27 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3141 con una longitud de onda de  $0.578 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.1399 con una longitud de onda de  $0.566 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 06 con una longitud de onda  $0.902 \mu m$  y una reflectancia de 0.9223 y un mínimo con una reflectancia 0.5149 con una longitud de onda  $0.878 \mu m$  en la semana 09, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 06 con una reflectancia de 0.9781 con una longitud de onda de  $1.089 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.5580 y una longitud de onda de  $1.054 \mu m$  en la semana 09.

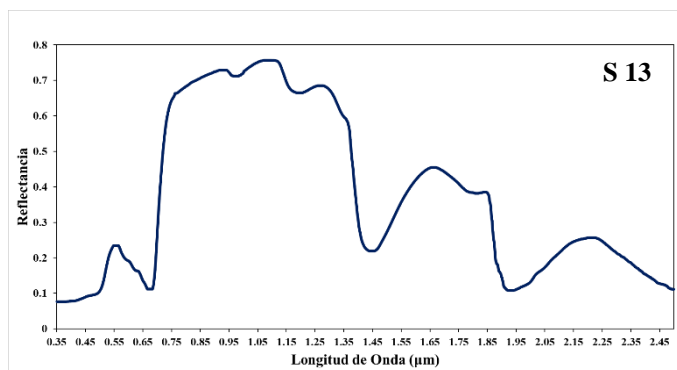




**Figura 4.1.27** Firmas espectrales de la parcela IV-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

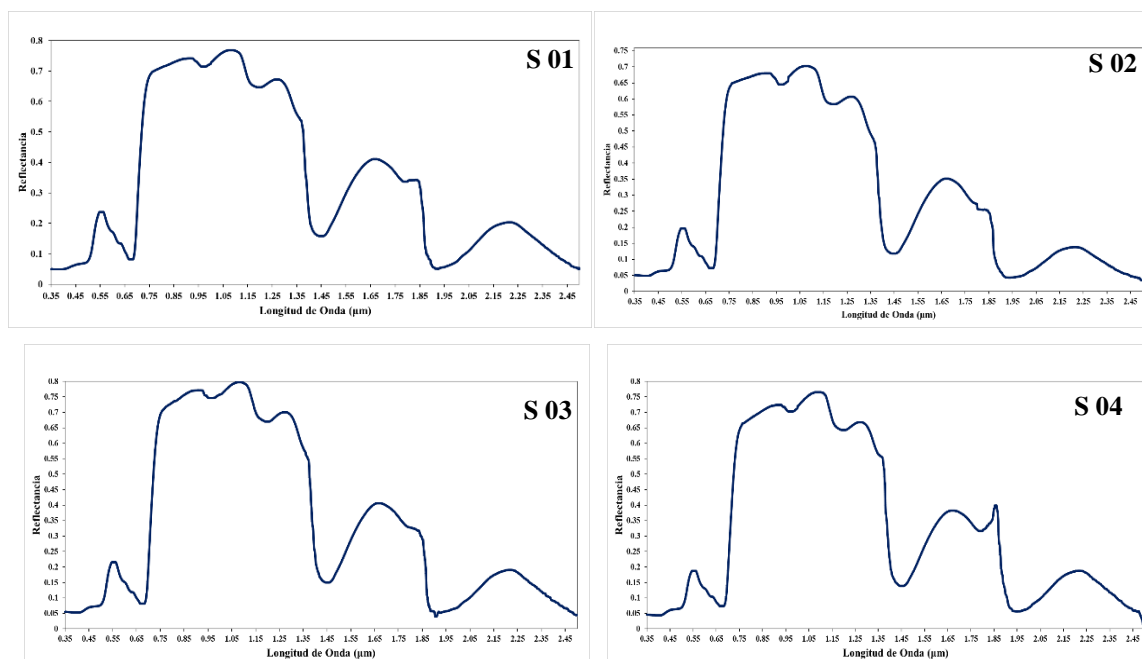
- Parcela IV-2-SR: En la figura 4.1.28 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2587 con una longitud de onda de  $0.567 \mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 09 con una reflectancia de 0.1135 con una longitud de onda de  $0.569 \mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 10 con una longitud de onda  $0.910 \mu m$  y una reflectancia de 0.9008 y un mínimo con una reflectancia 0.4473 con una longitud de onda  $0.897 \mu m$  en la semana 09, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 10 con una reflectancia de 0.9368 con una longitud de onda de  $1.082 \mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.4579 y una longitud de onda de  $1.043 \mu m$  en la semana 04.



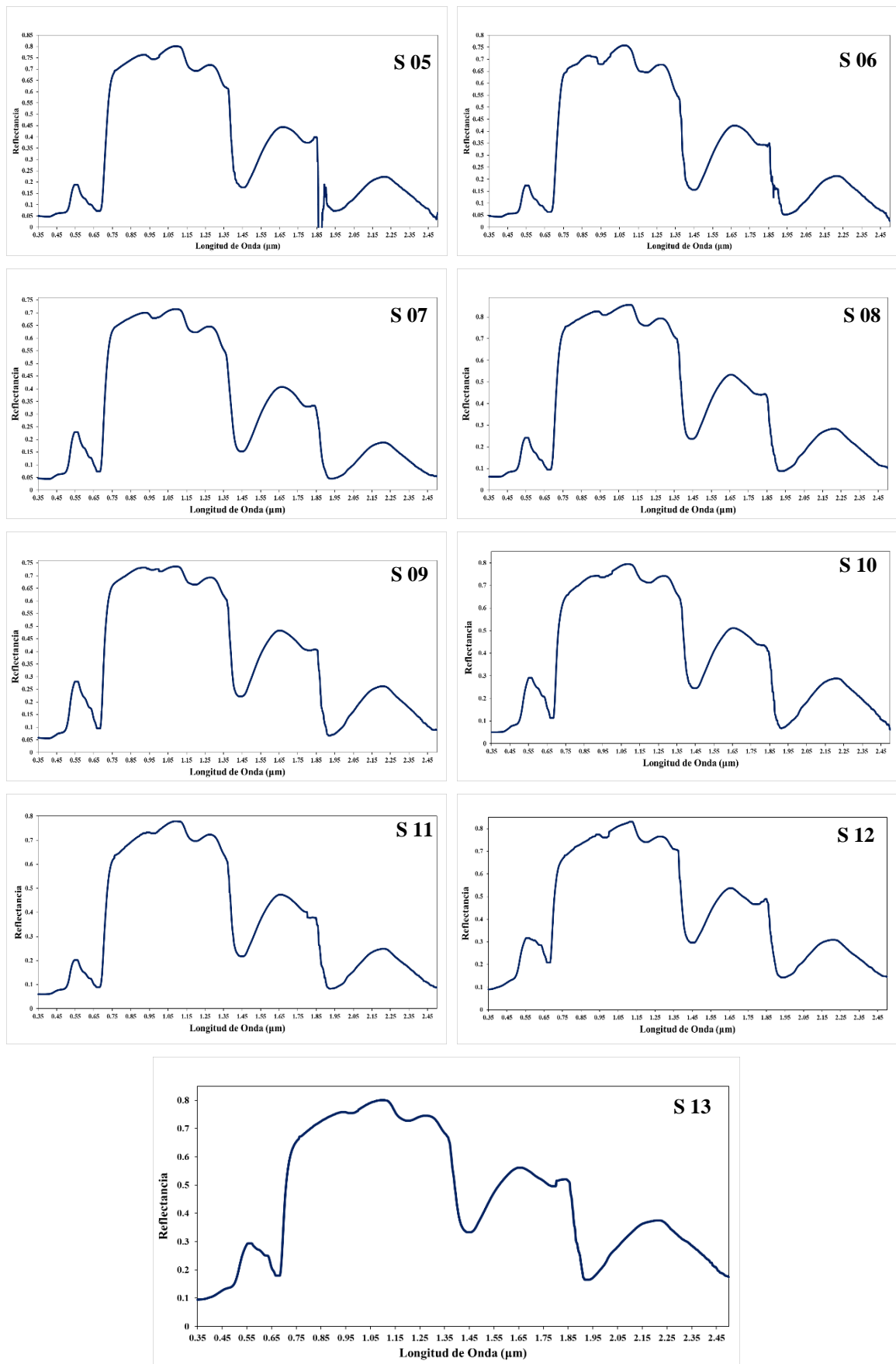


**Figura 4.1.28** Firmas espectrales de la parcela IV-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

➤ Parcela IV-3-CR: En la figura 4.1.29 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3118 con una longitud de onda de 0.580  $\mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 06 con una reflectancia de 0.1671 con una longitud de onda de 0.566  $\mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 08 con una longitud de onda 0.902  $\mu m$  y una reflectancia de 0.8205 y un mínimo con una reflectancia 0.6794 con una longitud de onda 0.884  $\mu m$  en la semana 02, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 08 con una reflectancia de 0.8553 con una longitud de onda de 1.090  $\mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6982 y una longitud de onda de 1.047  $\mu m$  en la semana 02.

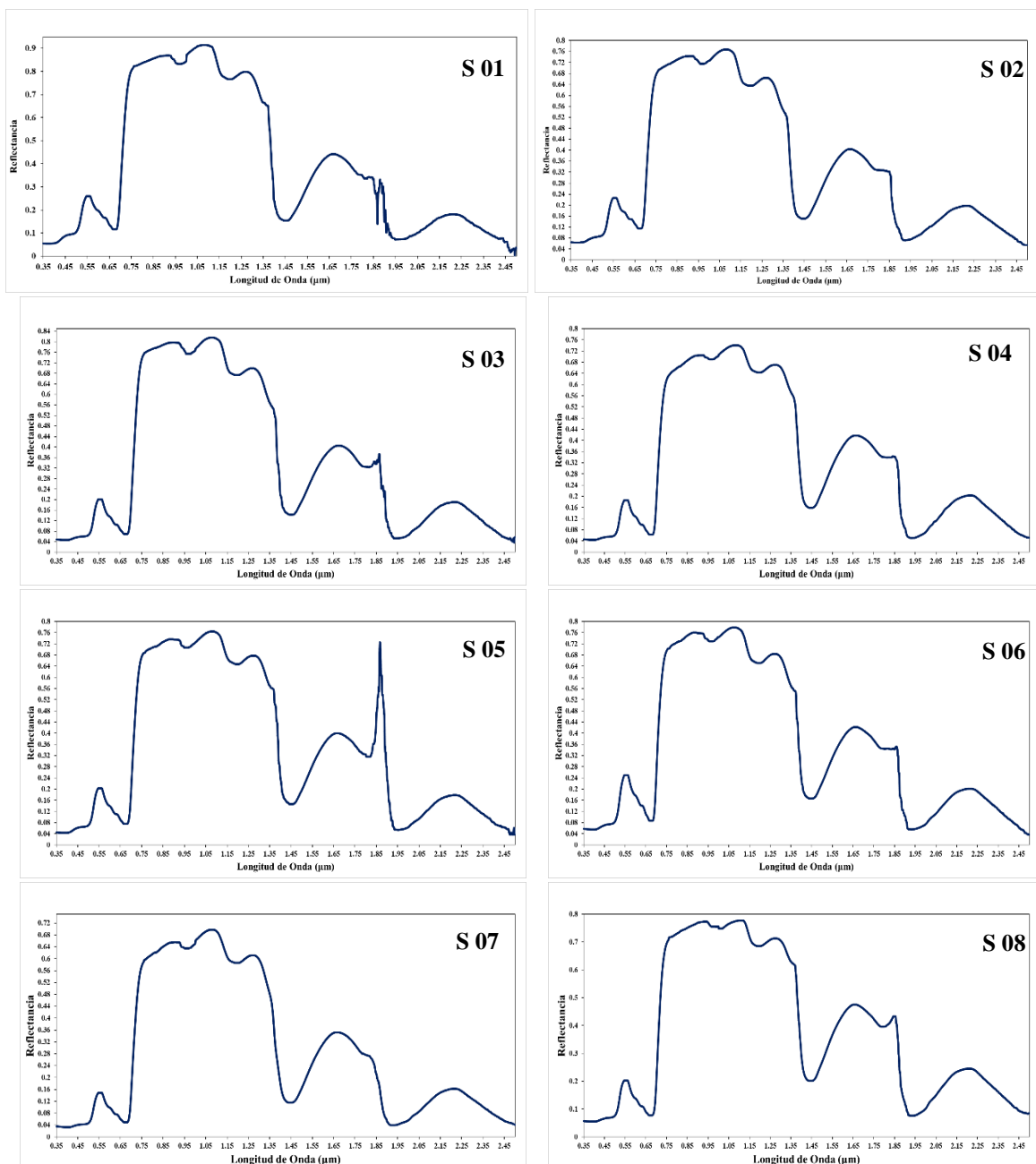


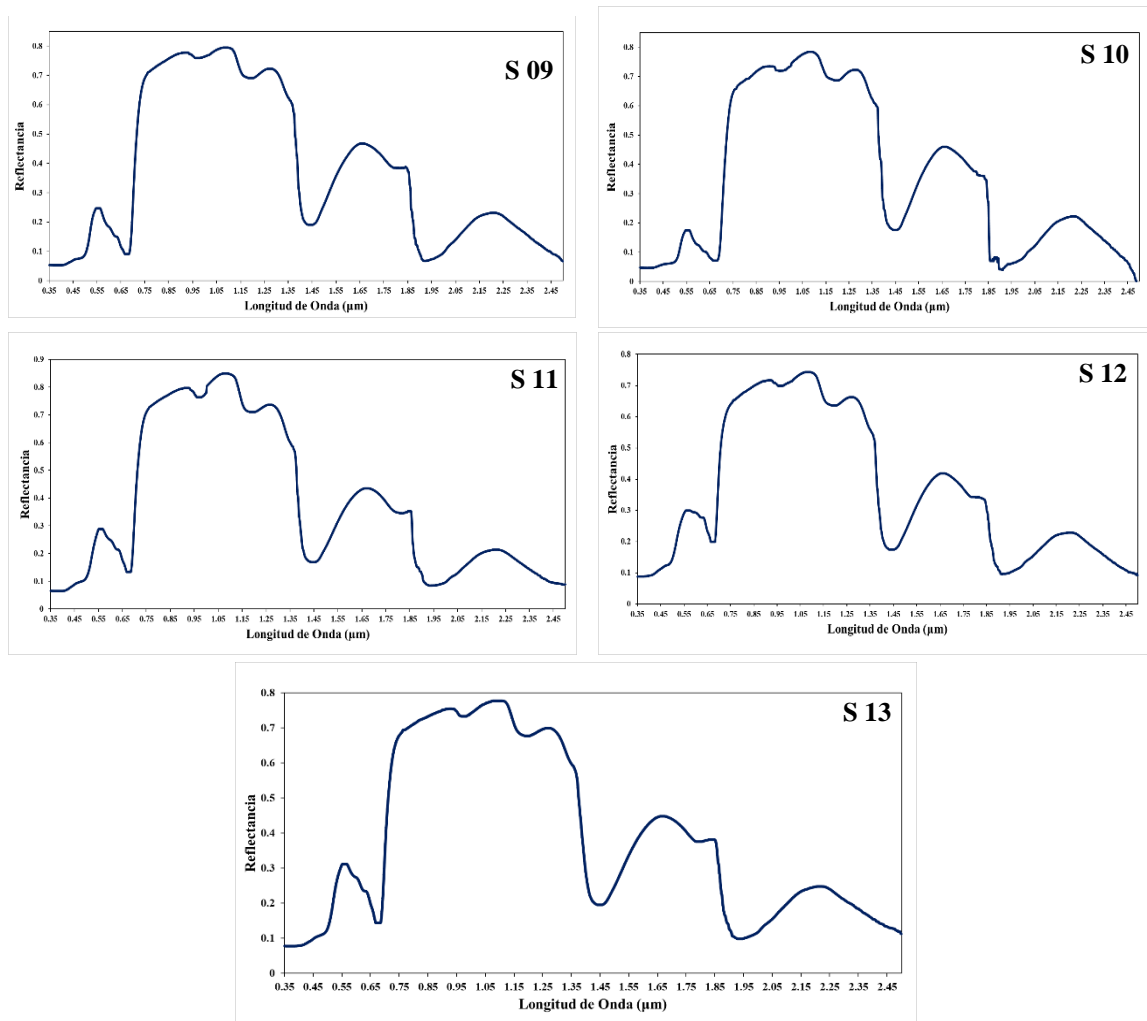




**Figura 4.1.29** Firmas espectrales de la parcela IV-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

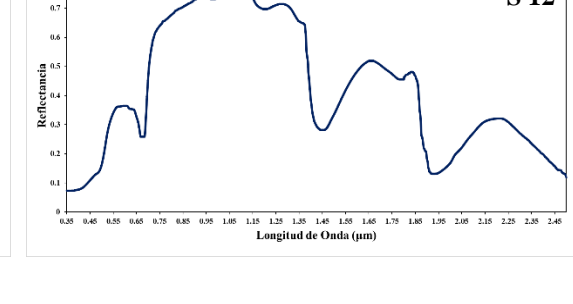
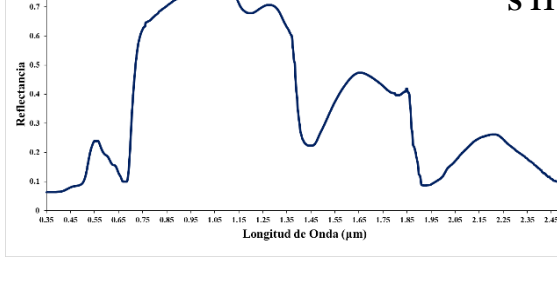
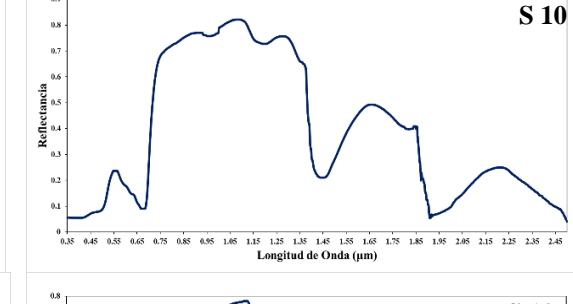
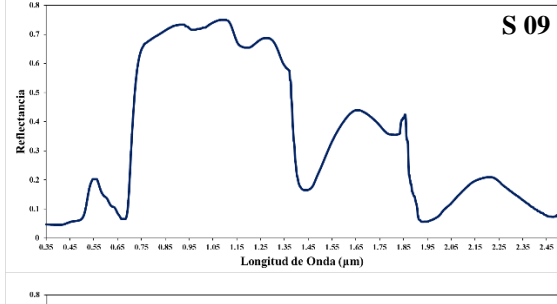
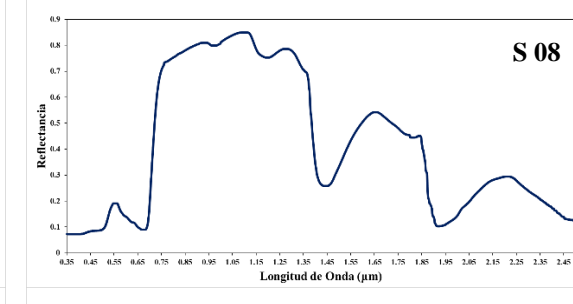
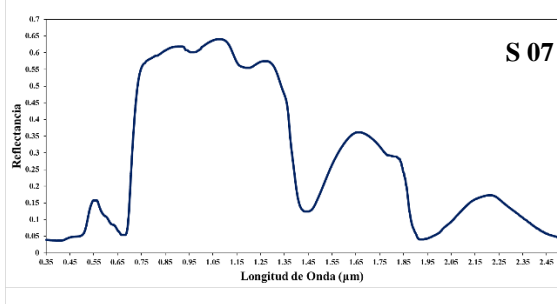
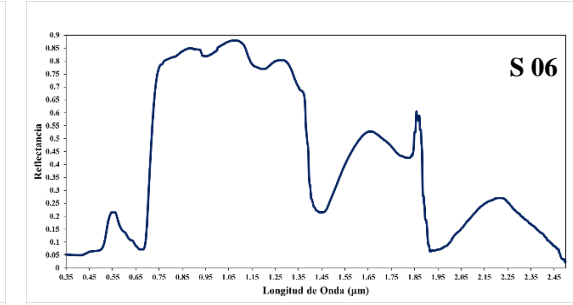
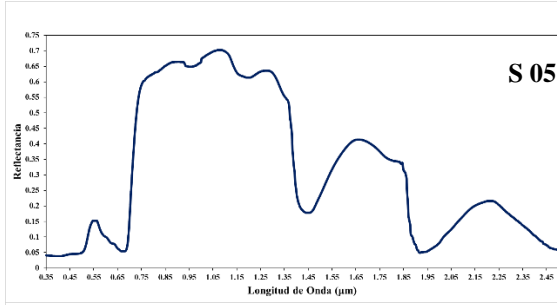
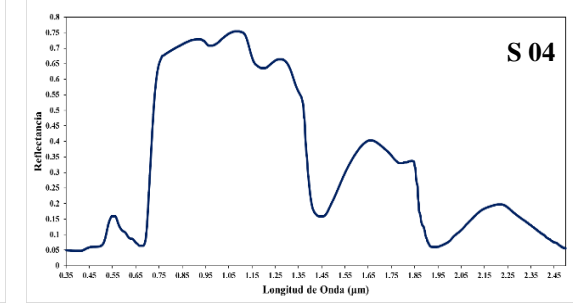
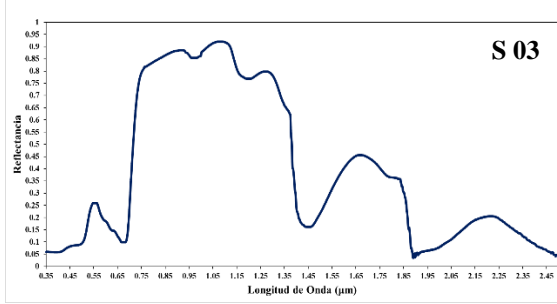
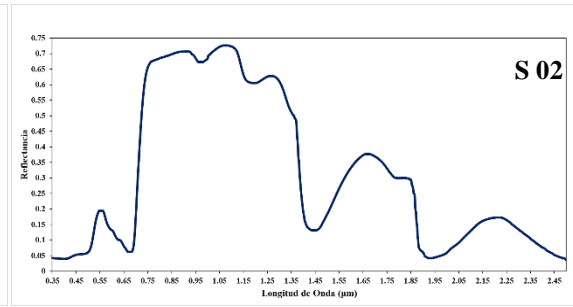
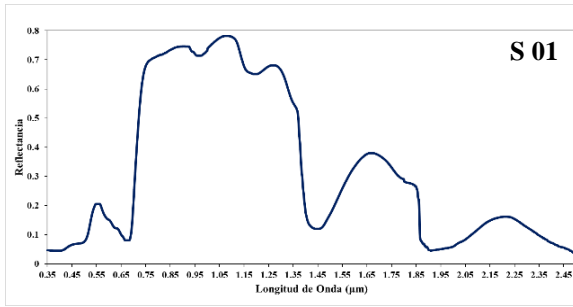
➤ Parcela IV-3-SR: En la figura 4.1.30 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3049 con una longitud de onda de  $0.572 \mu\text{m}$  en el verde y se da durante la semana 13, el mínimo se da en la semana 07 con una reflectancia de 0.1377 con una longitud de onda de  $0.569 \mu\text{m}$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 01 con una longitud de onda de  $0.881 \mu\text{m}$  y una reflectancia de 0.8656 y un mínimo con una reflectancia 0.6499 con una longitud de onda  $0.869 \mu\text{m}$  en la semana 07, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 01 con una reflectancia de 0.9144 con una longitud de onda de  $1.077 \mu\text{m}$  con un mínimo de reflectancia 0.6897 y una longitud de onda de  $1.045 \mu\text{m}$  en la semana 07.

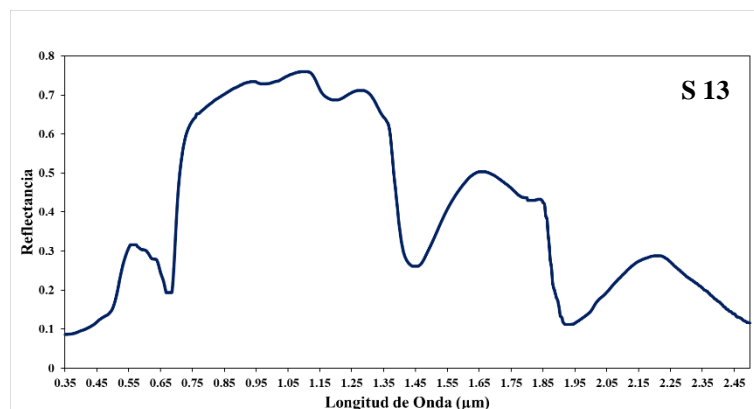




**Figura 4.1.30** Firmas espectrales de la parcela IV-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

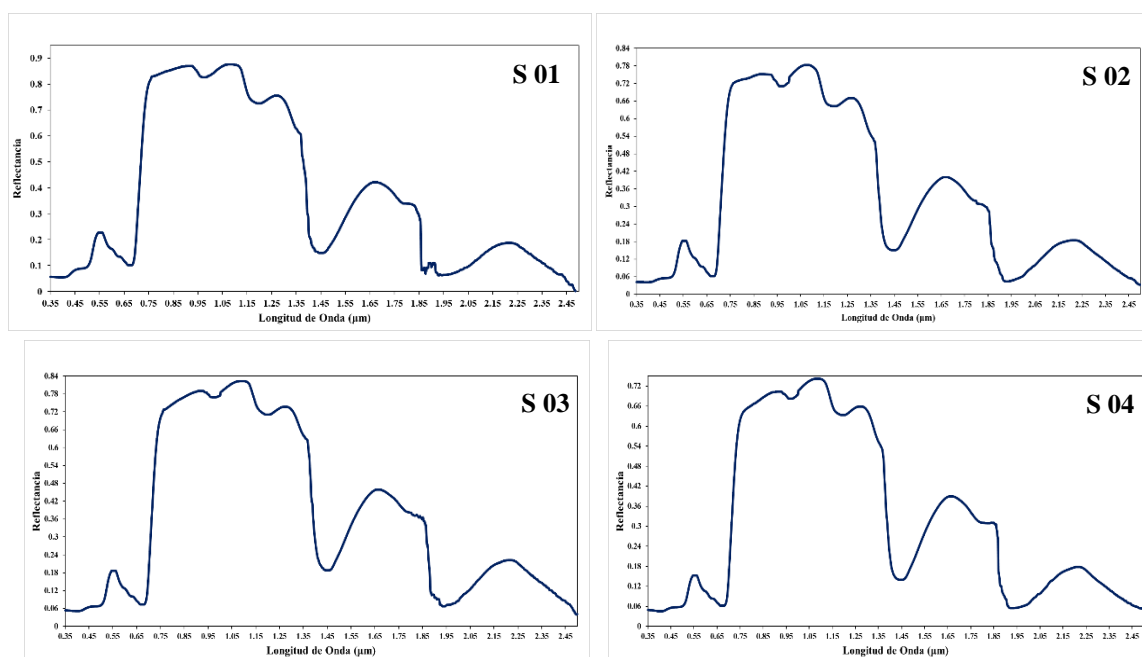
- Parcela IV-4-CR: En la figura 4.1.31 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.3648 con una longitud de onda de 0.598  $\mu m$  en el verde y se da durante la semana 12, el mínimo se da en la semana 05 con una reflectancia de 0.1409 con una longitud de onda de 0.569  $\mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 03 con una longitud de onda 0.824  $\mu m$  y una reflectancia de 0.8824 y un mínimo con una reflectancia 0.6177 con una longitud de onda 0.894  $\mu m$  en la semana 07, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 03 con una reflectancia de 0.9191 con una longitud de onda de 1.064  $\mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.6391 y una longitud de onda de 1.061  $\mu m$  en la semana 07.

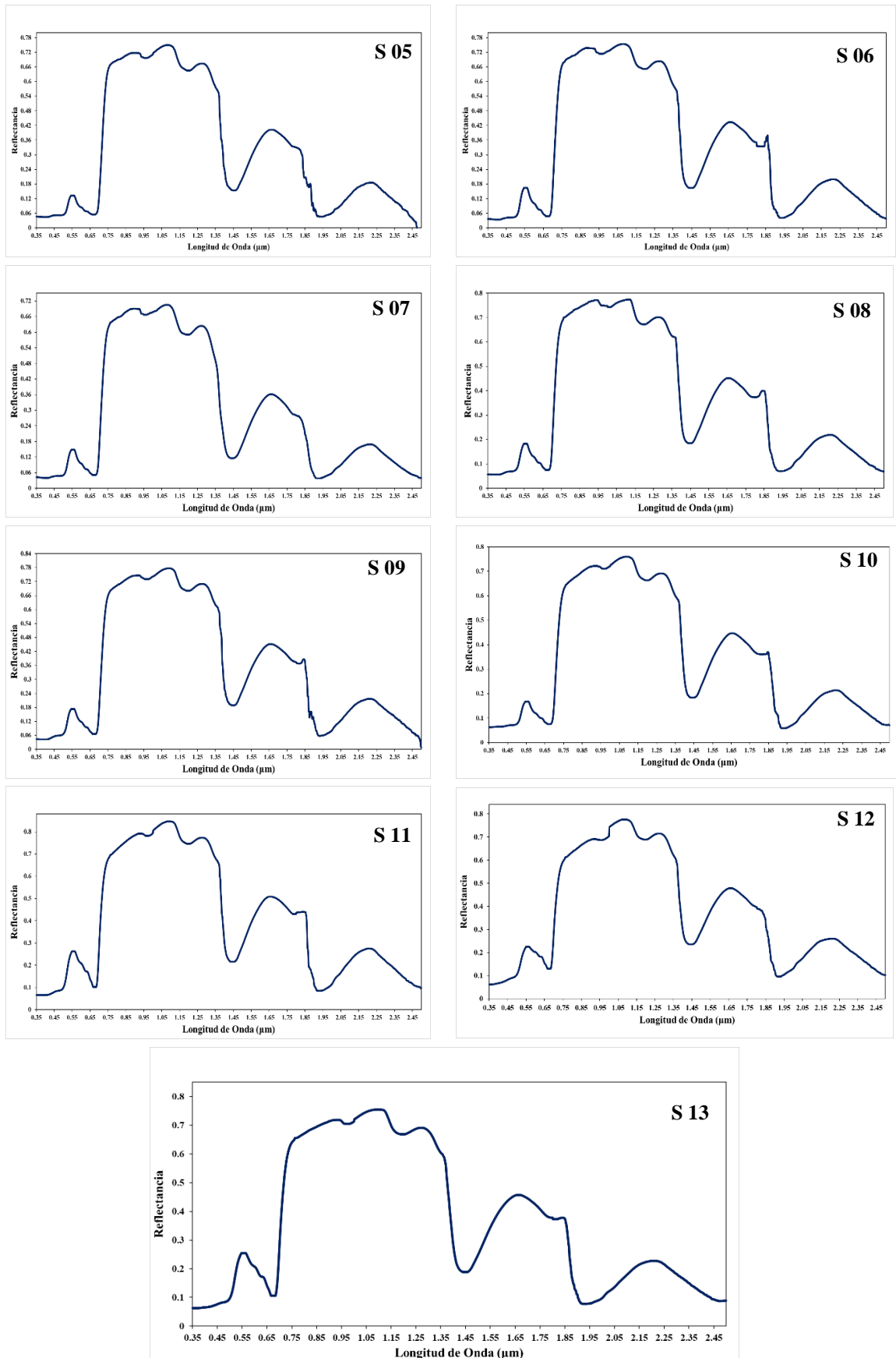




**Figura 4.1.31** Firmas espectrales de la parcela IV-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela IV-4-SR: En la figura 4.1.32 se observa que el máximo valor de reflectancia es de 0.2553 con una longitud de onda de 0.569  $\mu m$  en el verde y se da durante la semana 11, el mínimo se da en la semana 04 con una reflectancia de 0.1465 con una longitud de onda de 0.566  $\mu m$ , el máximo del primer pico del NIR se da en la semana 01 con una longitud de onda 0.891  $\mu m$  y una reflectancia de 0.8639 y un mínimo con una reflectancia 0.6895 con una longitud de onda 0.886  $\mu m$  en la semana 07, el máximo del segundo pico del SWIR se da en la semana 01 con una reflectancia de 0.8770 con una longitud de onda de 1.070  $\mu m$  con un mínimo de reflectancia 0.7037 y una longitud de onda de 1.065  $\mu m$  en la semana 07.

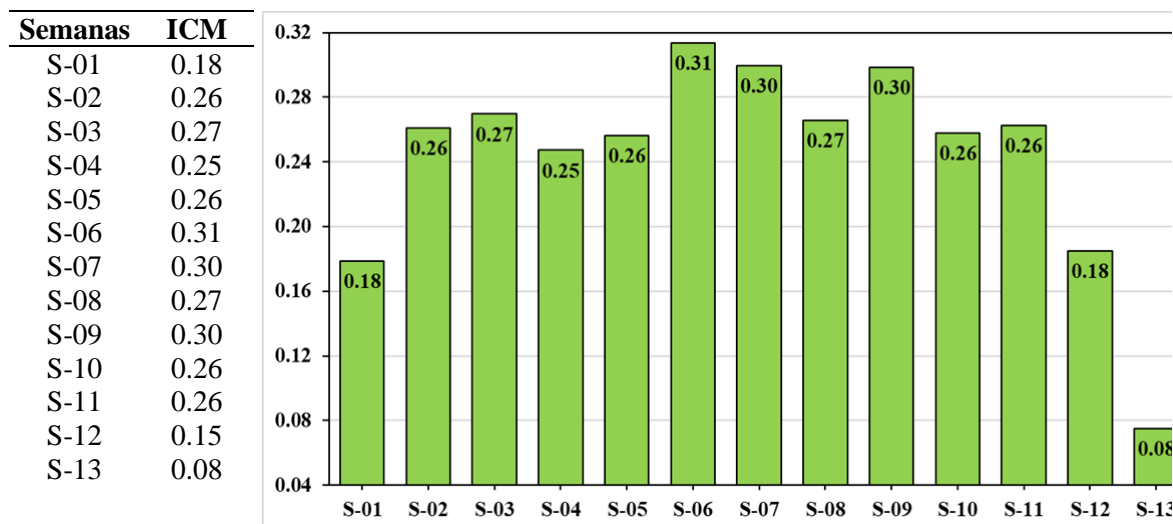




**Figura 4.1.32** Firmas espectrales de la parcela IV-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

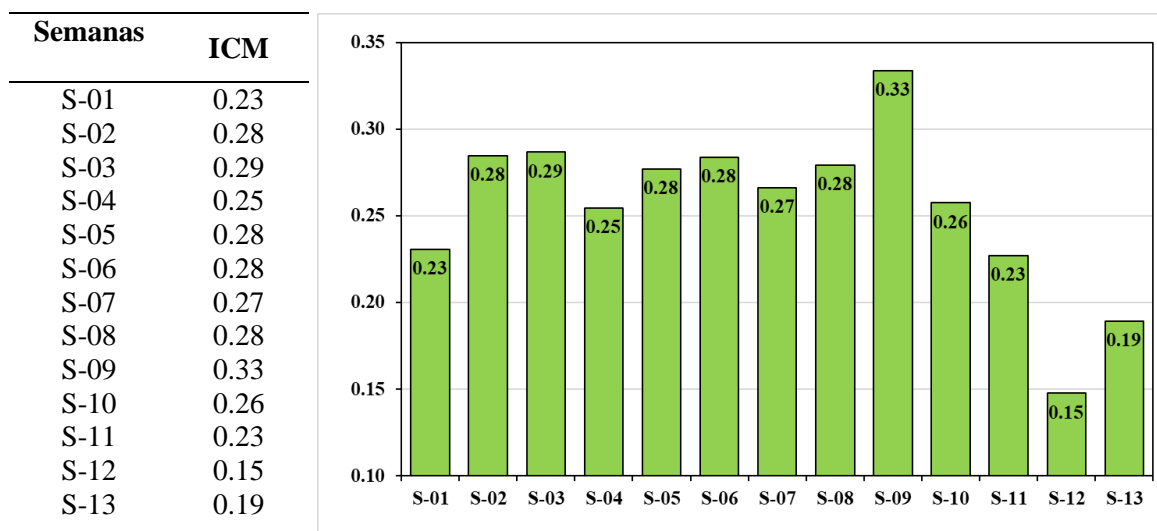
**4.2. Estimación del índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), a partir de los valores de reflectancia de las firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento.**

- Parcela I-1-CR: En la figura 4.2.1 se observa los valores de índice de clorofila modificado (ICM) de las 13 semanas de la parcela I-1-CR, teniendo como máximo valor 0.31 que se da en la semana 06 y un valor mínimo de 0.08 se da en la semana 13.



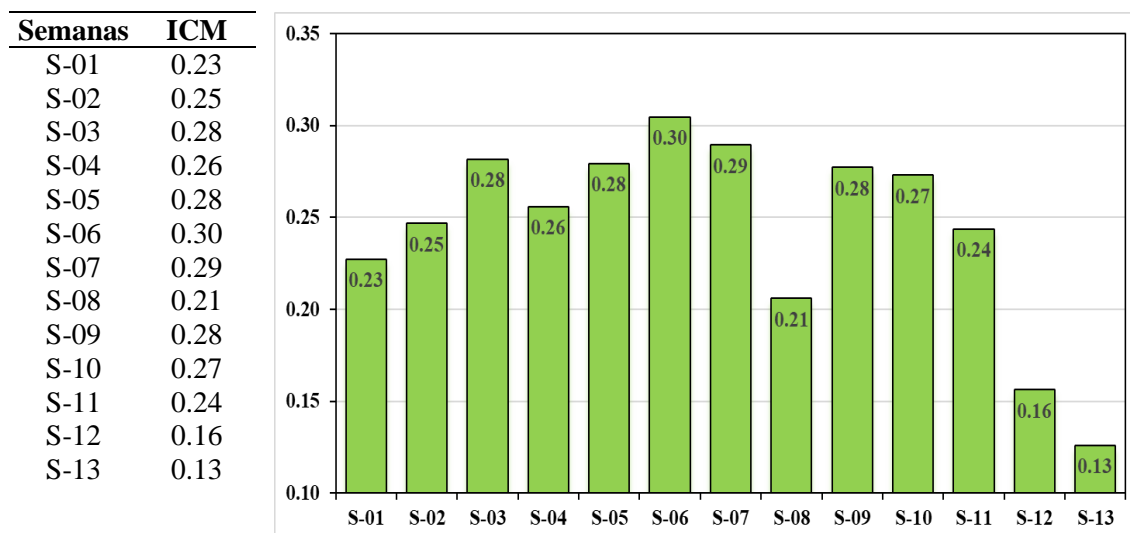
**Figura 4.2.1** Índice de clorofila de la parcela I-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-1-SR: En la figura 4.2.2 se observa los valores del ICM de las 13 semanas de la parcela I-1-SR, teniendo un mayor índice de clorofila se alcanzada en la semana 09 con un valor máximo de 0.33 y un mínimo de 0.15 en la semana 12.



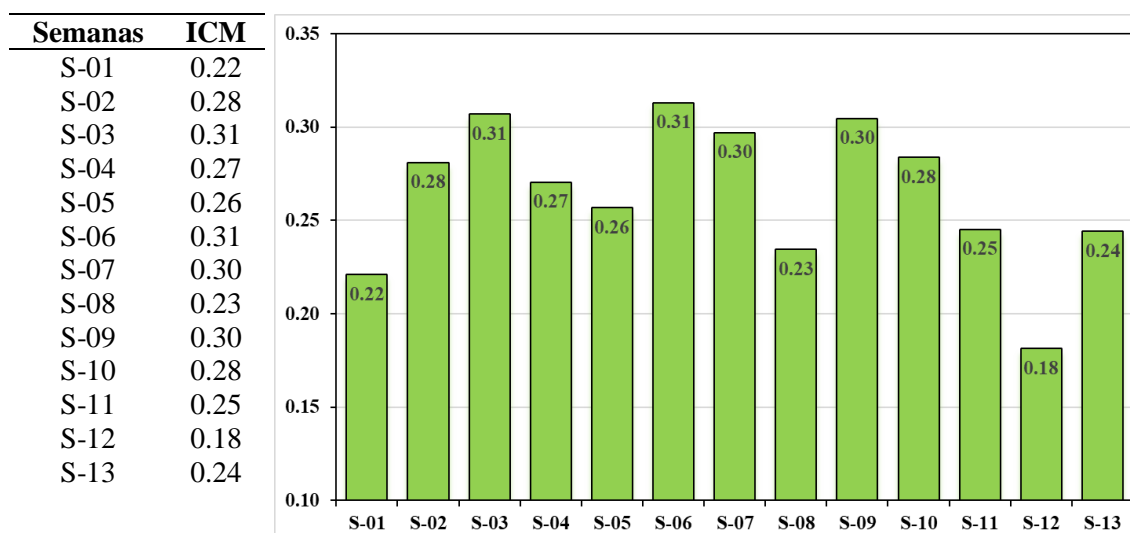
**Figura 4.2.2** Índice de clorofila de la parcela I-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-2-CR: En la figura 4.2.3 se observa los valores del ICM de las 13 semanas de la parcela I-2-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 06 con un valor máximo de 0.30 y un mínimo de 0.13 en la semana 13.



**Figura 4.2.3** Índice de clorofila de la parcela I-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

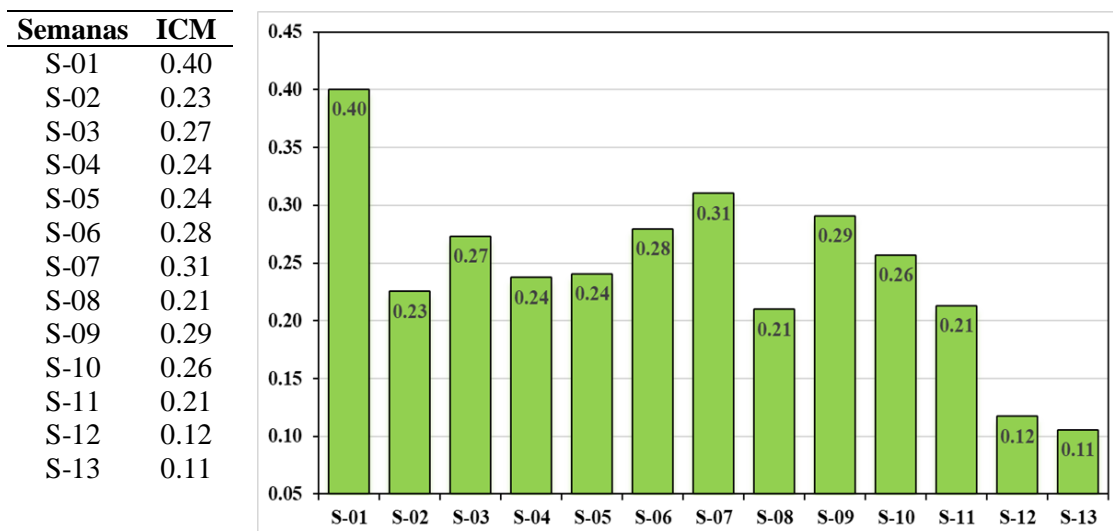
- Parcela I-2-SR: En la figura 4.2.4 se observa los valores del ICM de las 13 semanas de la parcela I-2-SR, teniendo un mayor índice de clorofila que se da en la semana 06 con un valor máximo de 0.31 y un mínimo de 0.18 en la semana 12.



**Figura 4.2.4** Índice de clorofila de la parcela I-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

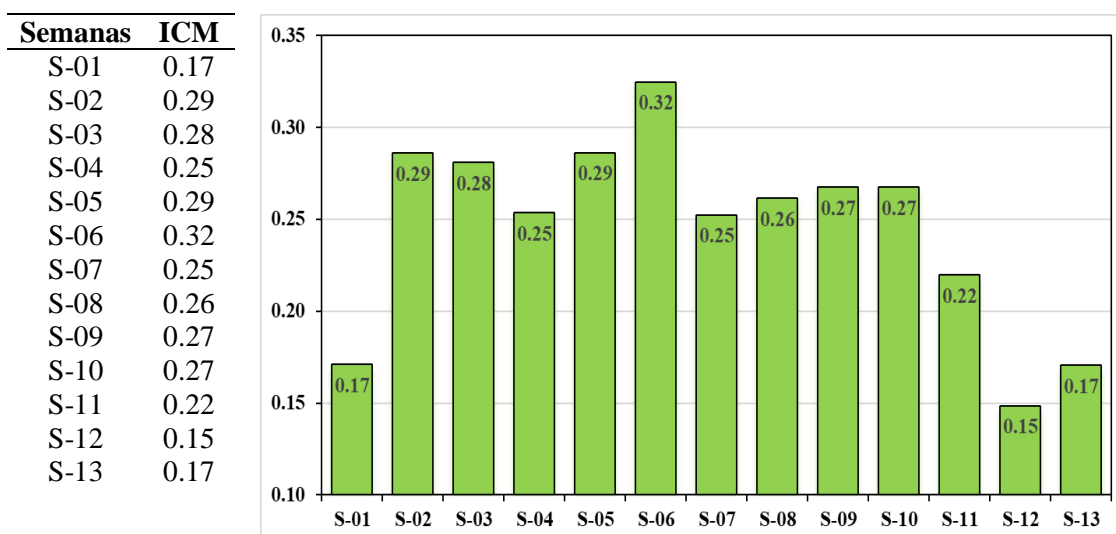


- Parcela I-3-CR: En la figura 4.2.5 se observa los valores de índice del ICM de las 13 semanas de la parcela I-3-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 01 con un valor máximo de 0.40 y un mínimo de 0.11 en la semana 13.



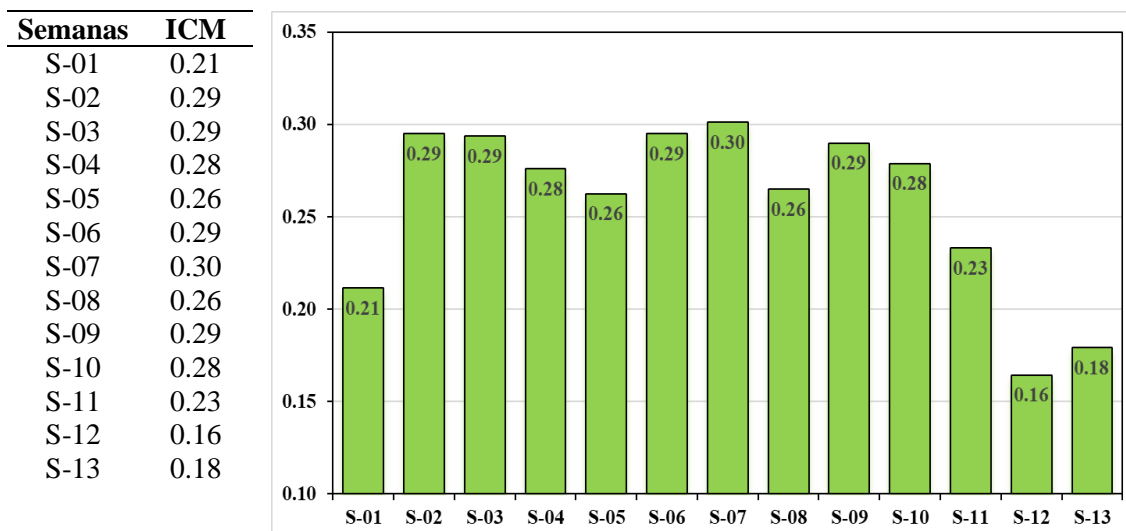
**Figura 4.2.5** Índice de clorofila de la parcela I-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-3-SR: En la figura 4.2.6 se observa los valores de índice del ICM de las 13 semanas de la parcela I-3-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 06 con un valor máximo de 0.32 y un mínimo de 0.15 en la semana 12.



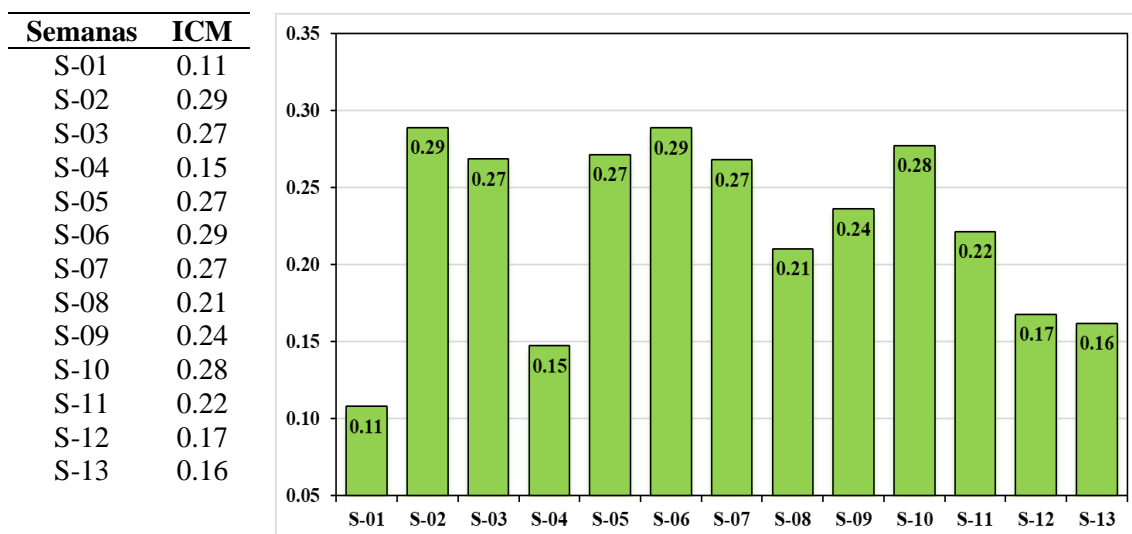
**Figura 4.2.6** Índice de clorofila de la parcela I-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-4-CR: En la figura 4.2.7 se observa los valores de índice del ICM de las 13 semanas de la parcela I-4-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 07 con un valor máximo de 0.30 y un mínimo de 0.16 en la semana 12.



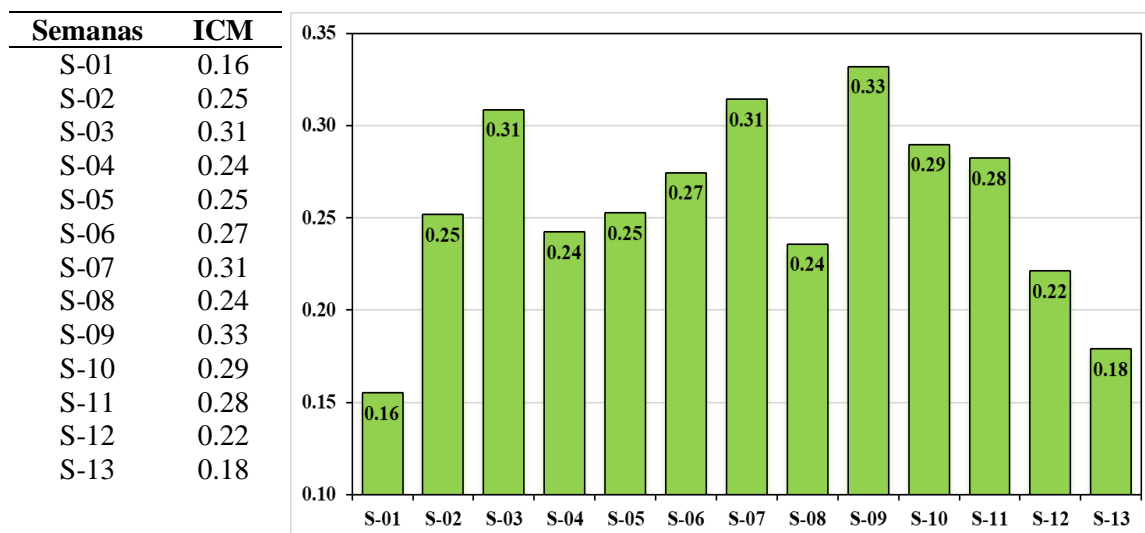
**Figura 4.2.7** Índice de clorofila de la parcela I-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-4-SR: En la figura 4.2.8 se observa los valores de índice del ICM de las 13 semanas de la parcela I-4-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en las semanas 02 y 06 con un valor máximo de 0.29 y un mínimo de 0.11 en la semana 01.



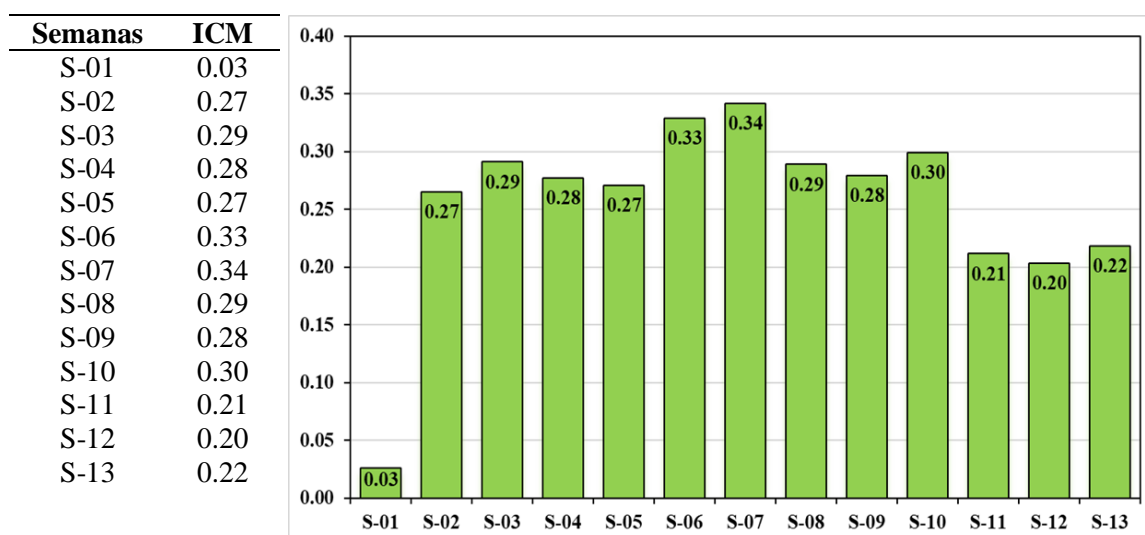
**Figura 4.2.8** Índice de clorofila de la parcela I-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-1-CR: En la figura 4.2.9 se observa los valores del índice del ICM en las 13 semanas, parcela II-1-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 09 con un valor máximo de 0.33 y un mínimo de 0.16 en la semana 01.



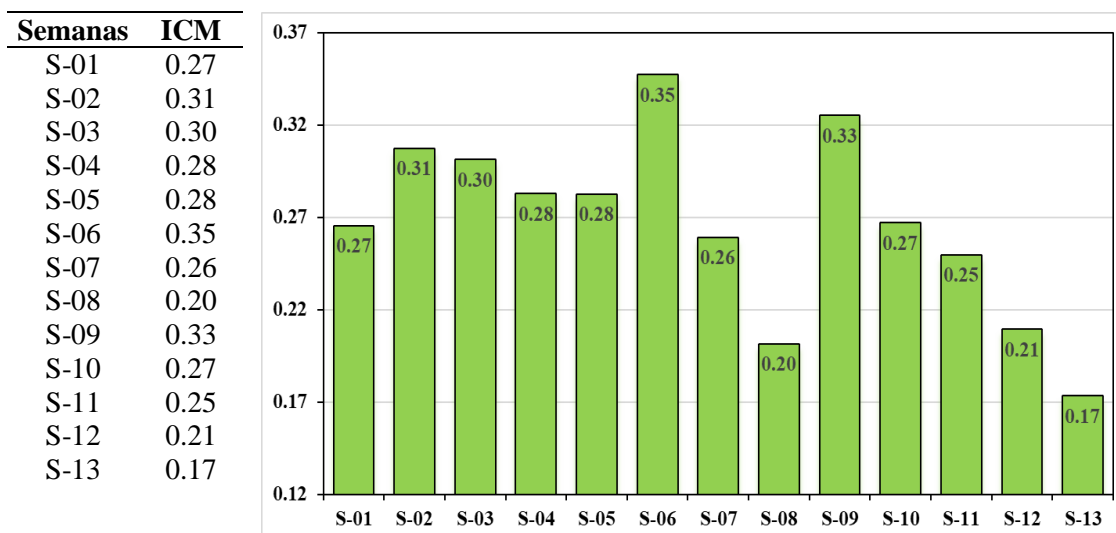
**Figura 4.2.9** Índice de clorofila de la parcela II-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-1-SR: En la figura 4.2.10 se observa los valores de índice del ICM de las 13 semanas, parcela II-1-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 07 con un valor máximo de 0.34 y un mínimo de 0.03 en la semana 01.



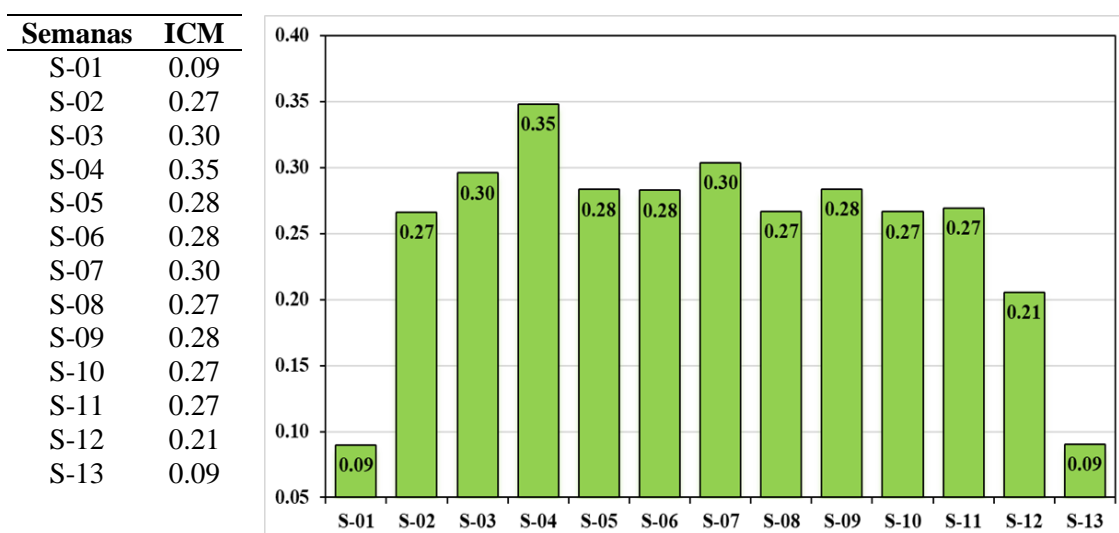
**Figura 4.2.10** Índice de clorofila de la parcela II-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-2-CR: En la figura 4.2.11 se observa los valores del ICM de las 13 semanas de la parcela II-2-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 06 con un valor máximo de 0.35 y un mínimo de 0.17 en la semana 13.



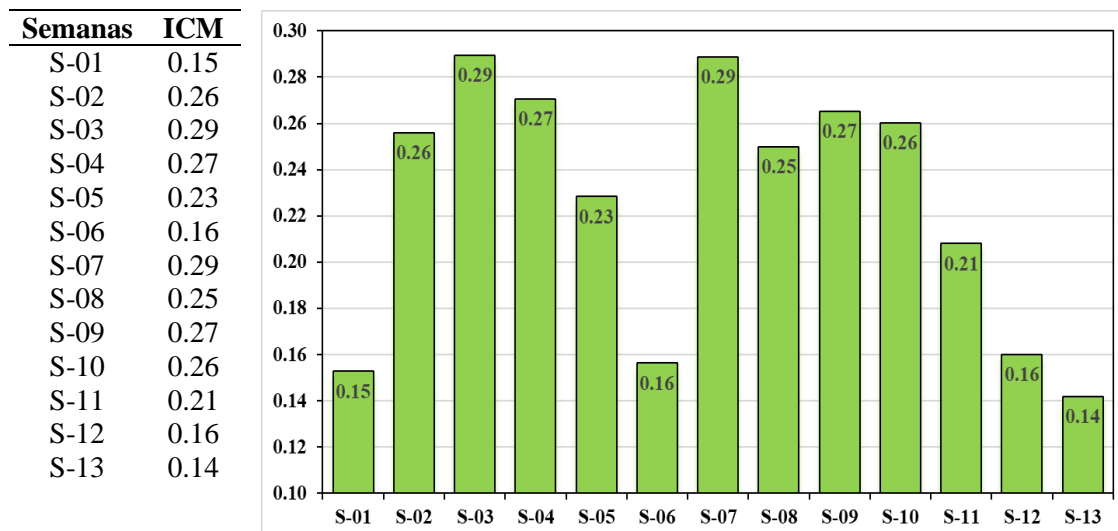
**Figura 4.2.11** Índice de clorofila de la parcela II-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-2-SR: En la figura 4.2.12 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela II-2-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 04 con un valor máximo de 0.35 y un de 0.09 en las semanas 01 y 13.



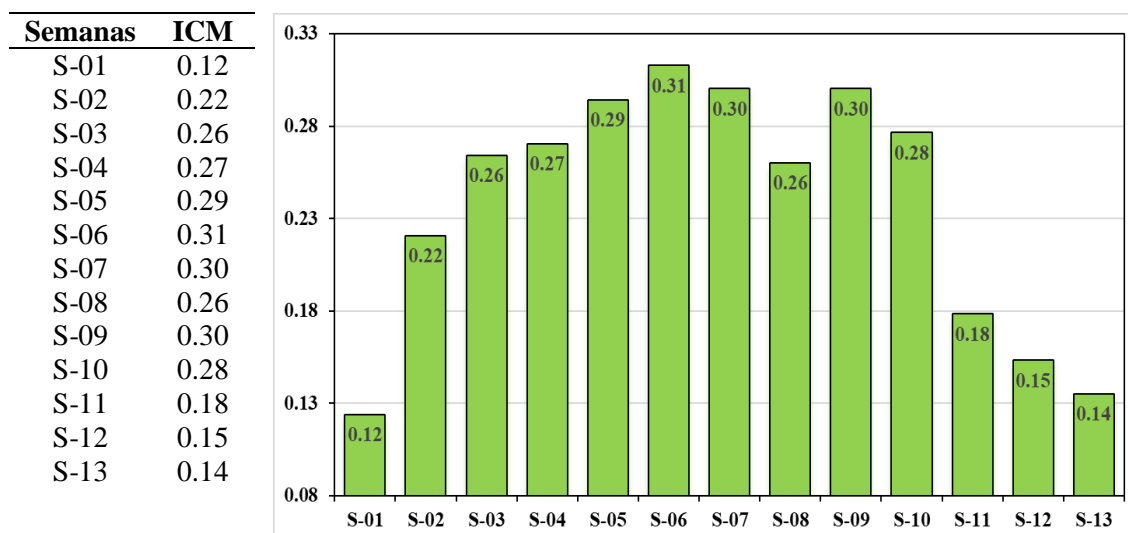
**Figura 4.2.12** Índice de clorofila de la parcela II-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-3-CR: En la figura 4.2.13 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela II-3-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en las semanas 03 y 07 con un valor máximo de 0.29 y un mínimo de 0.14 en la semana 13.



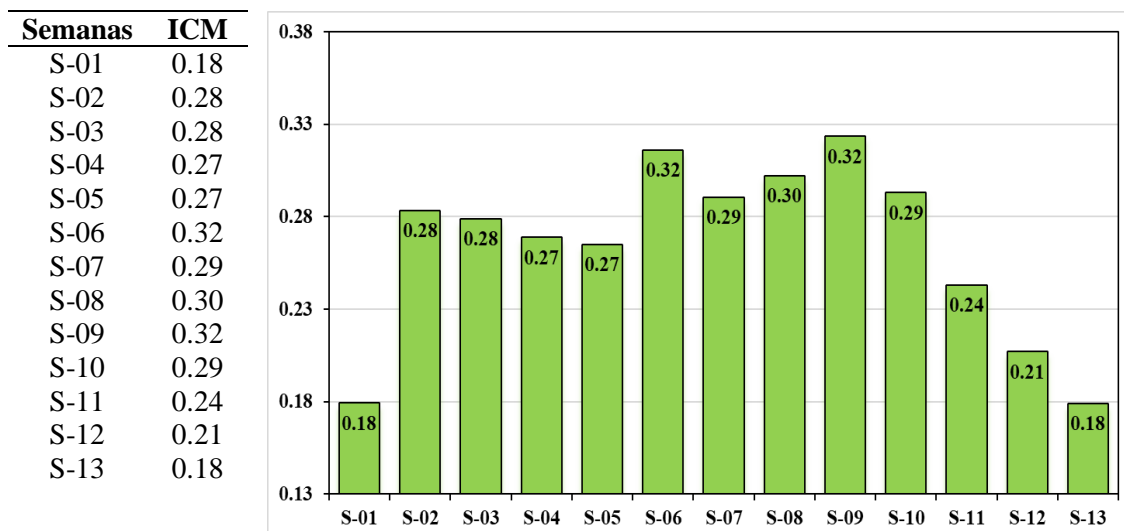
**Figura 4.2.13** Índice de clorofila de la parcela II-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-3-SR: En la figura 4.2.14 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela II-3-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 06 con un valor máximo de 0.31 y un mínimo de 0.12 en la semana 01.



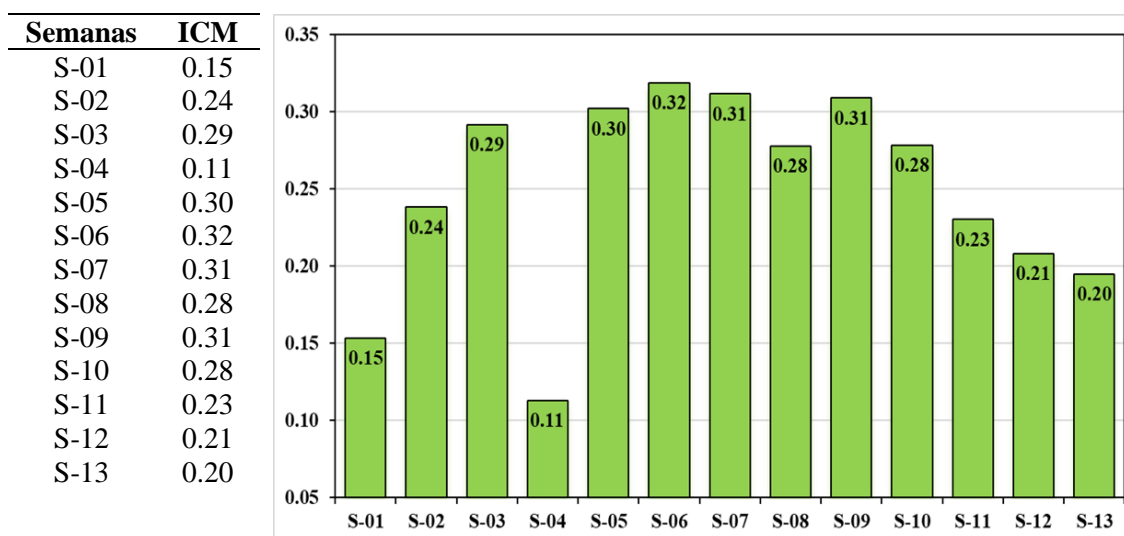
**Figura 4.2.14** Índice de clorofila de la parcela II-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-4-CR: En la figura 4.2.15 se observa los valores de índice del ICM de las 13 semanas, parcela II-4-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 06 y 09 con un valor máximo de 0.32 y un mínimo de 0.18 en las semanas 01 y 13.



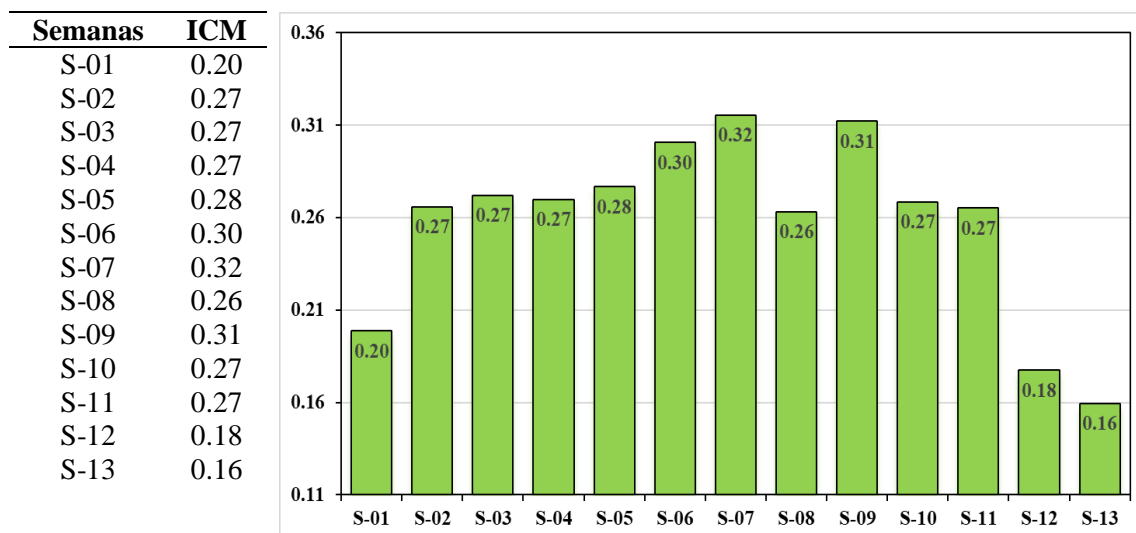
**Figura 4.2.15** Índice de clorofila de la parcela II-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-4-SR: En la figura 4.2.16 se observa los valores del ICM de las 13 semanas de la parcela II-4-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 06 con un valor máximo de 0.32 y un mínimo de 0.11 en la semana 04.



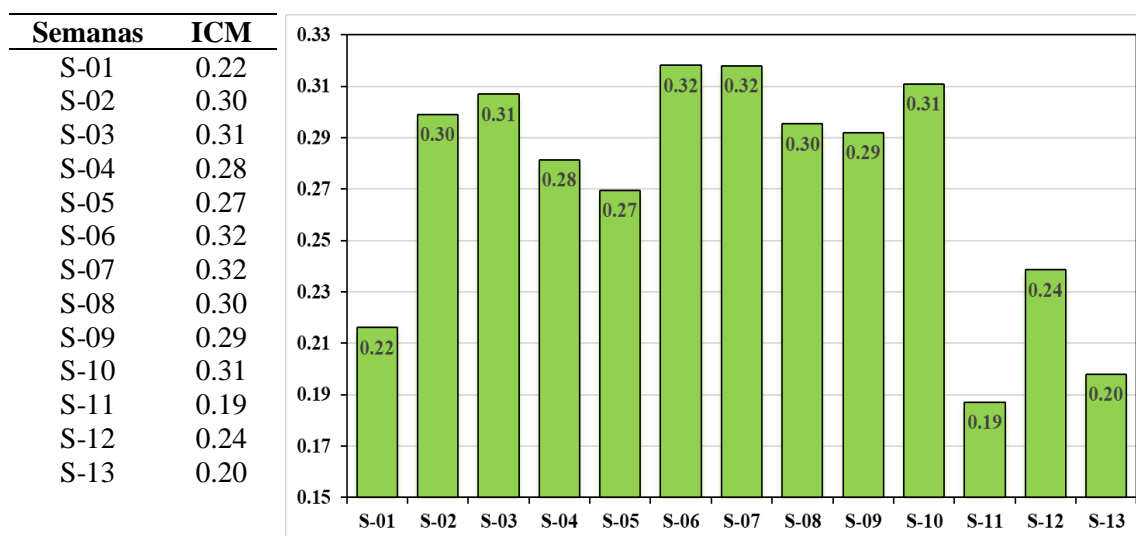
**Figura 4.2.16** Índice de clorofila de la parcela II-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-1-CR: En la figura 4.2.17 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela III-1-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 07 con un valor máximo de 0.32 y un mínimo de 0.16 en la semana 13.



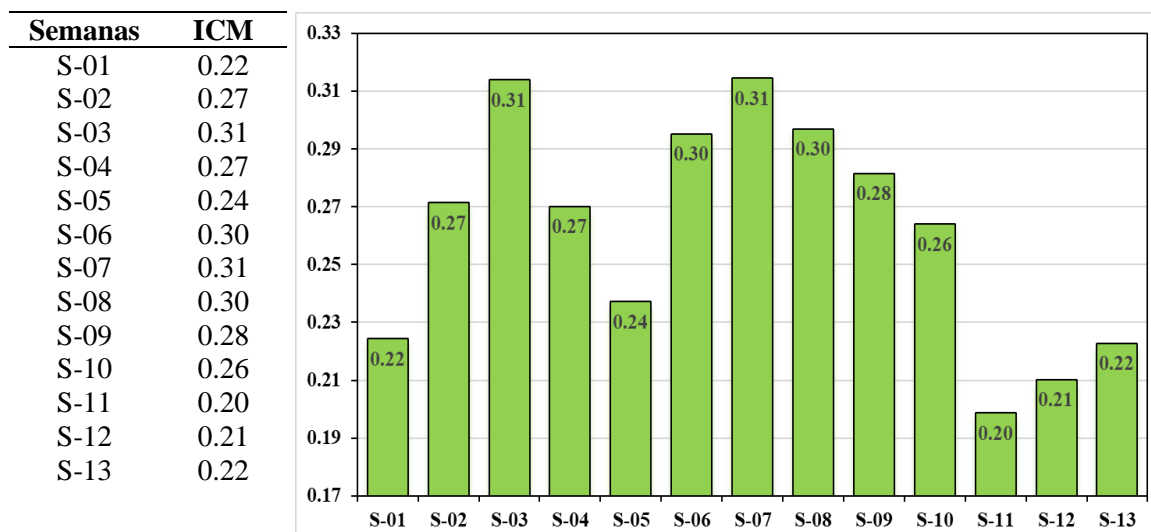
**Figura 4.2.17** Índice de clorofila de la parcela III-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-1-SR: En la figura 4.2.18 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela III-1-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en las semanas 06 y 07 con un valor máximo de 0.32 y un mínimo de 0.19 en la semana 11.



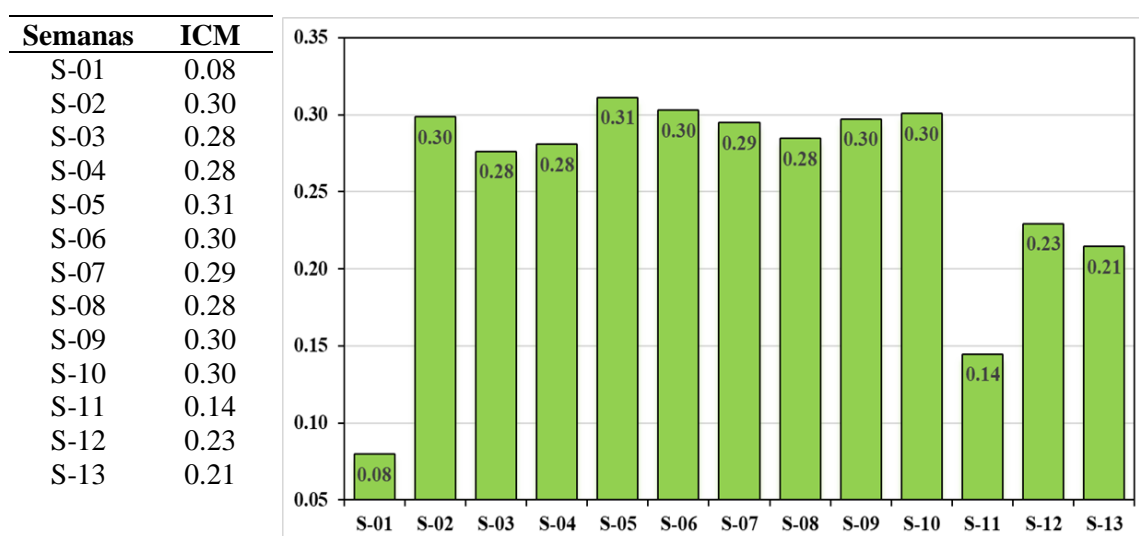
**Figura 4.2.18** Índice de clorofila de la parcela III-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-2-CR: En la figura 4.2.19 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela III-2-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en las semanas 03 y 07 con un valor máximo de 0.31 y un mínimo de 0.20 en la semana 11.



**Figura 4.2.19** Índice de clorofila de la parcela III-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

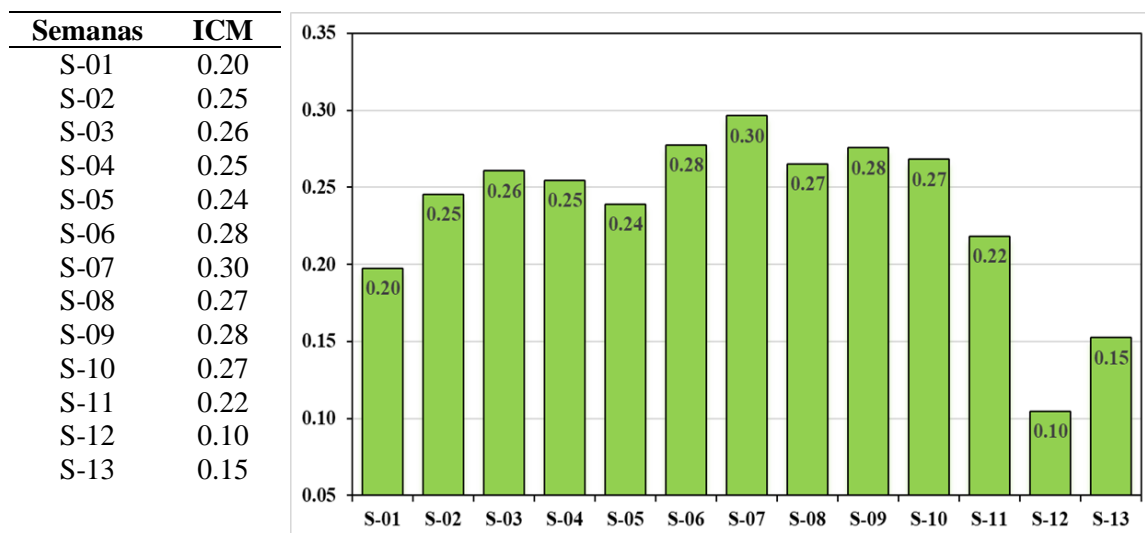
- Parcela III-2-SR: En la figura 4.2.20 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela III-2-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 05 con un valor máximo de 0.31 y un mínimo de 0.08 en la semana 01.



**Figura 4.2.20** Índice de clorofila de la parcela III-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

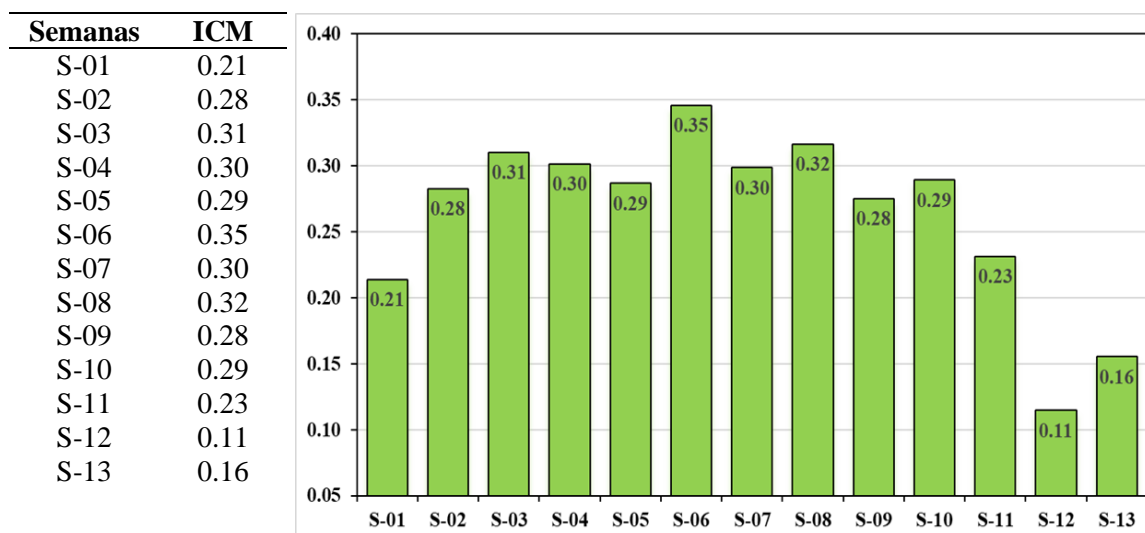


- Parcela III-3-CR: En la figura 4.2.21 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela III-3-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 07 con un valor máximo de 0.30 y un mínimo de 0.10 en la semana 12.



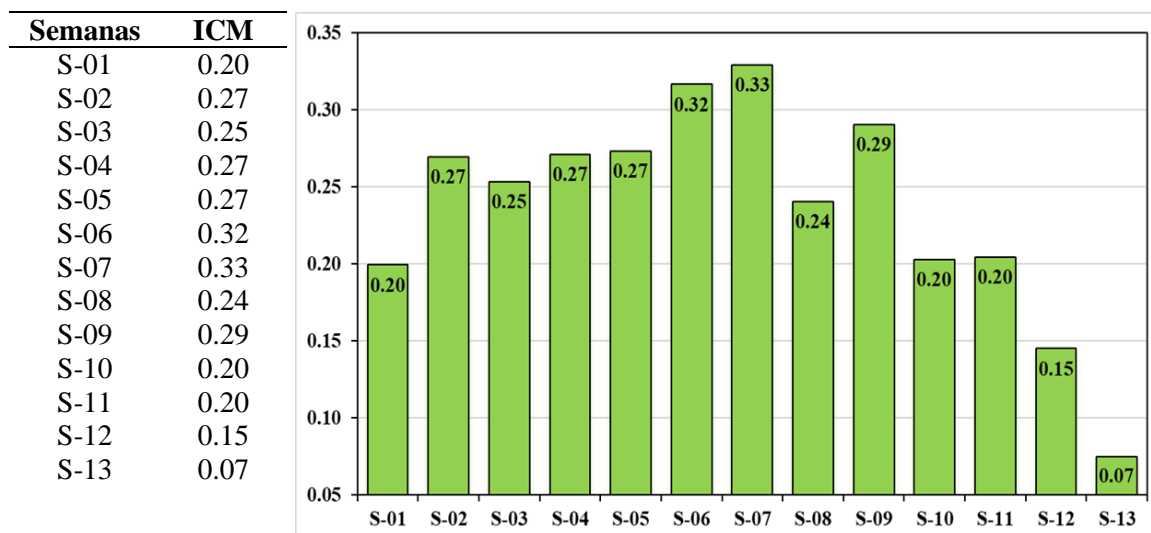
**Figura 4.2.21** Índice de clorofila de la parcela III-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-3-SR: En la figura 4.2.22 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela III-3-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 06 con un valor máximo de 0.35 y un mínimo de 0.11 en la semana 12.



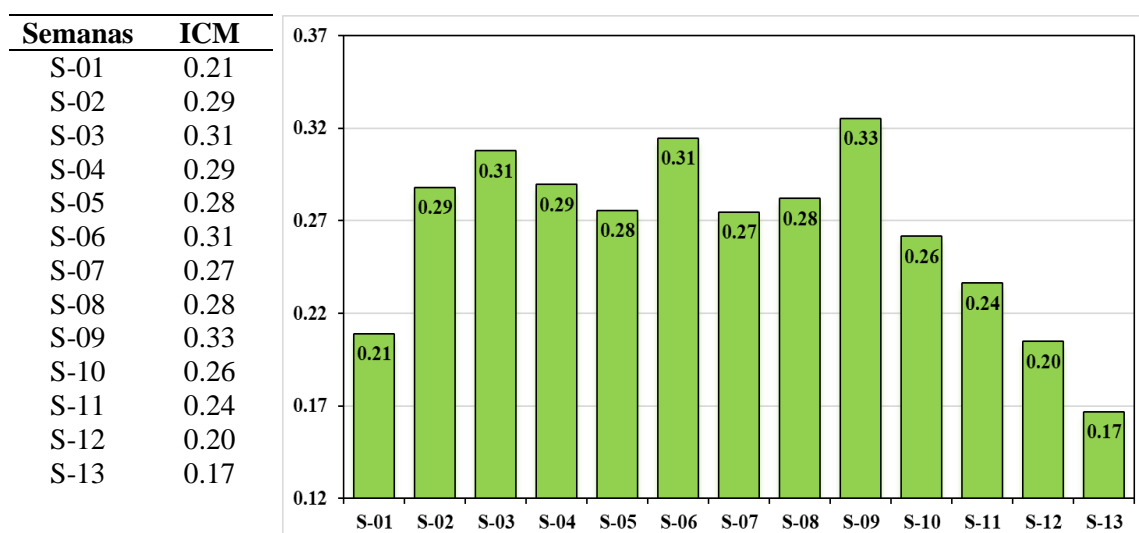
**Figura 4.2.22** Índice de clorofila de la parcela III-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-4-CR: En la figura 4.2.23 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela III-4-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 07 con un valor máximo de 0.33 y un mínimo de 0.07 en la semana 13.



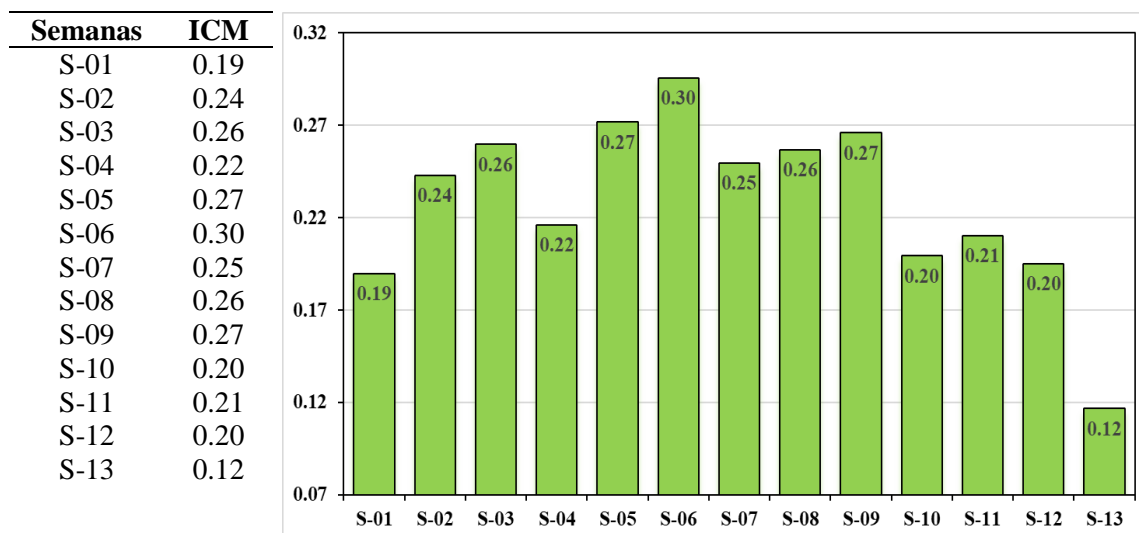
**Figura 4.2.23** Índice de clorofila de la parcela III-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-4-SR: En la figura 4.2.24 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela III-4-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 09 con un valor máximo de 0.33 y un mínimo de 0.17 en la semana 13.



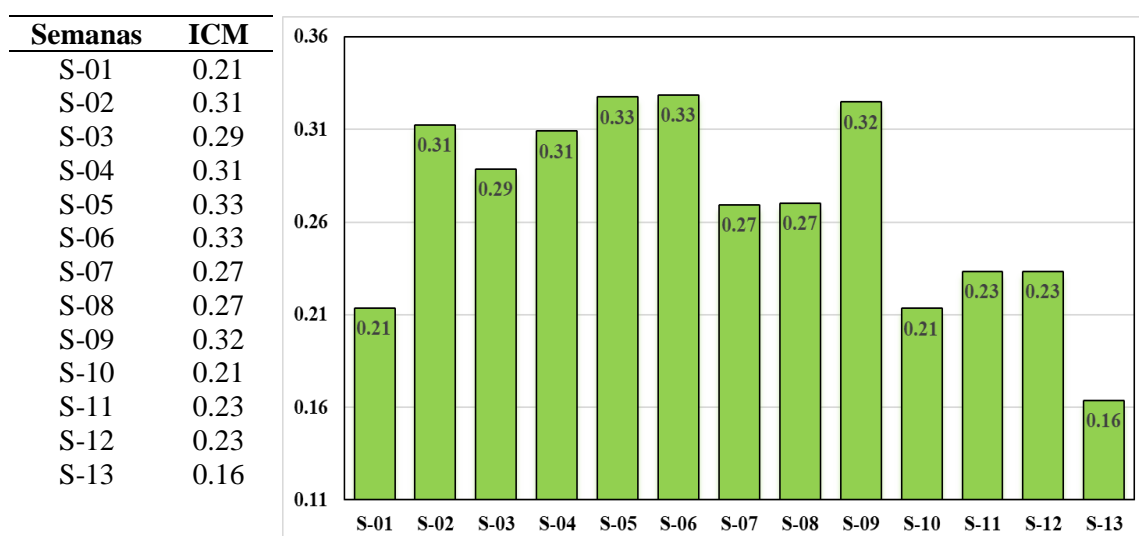
**Figura 4.2.24** Índice de clorofila de la parcela III-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-1-CR: En la figura 4.2.25 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela IV-1-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 06 con un valor máximo de 0.30 y un mínimo de 0.12 en la semana 13.



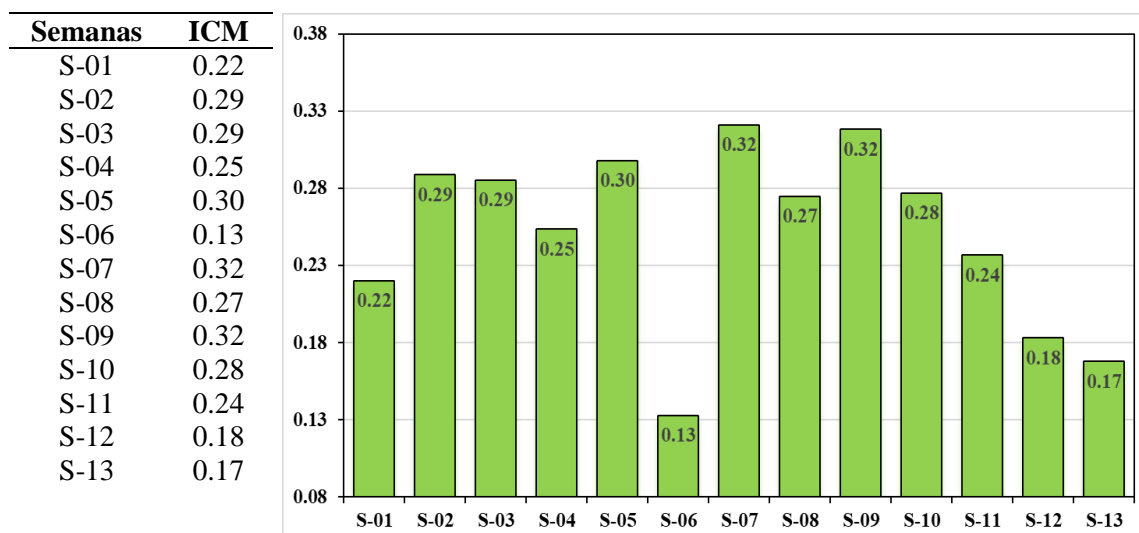
**Figura 4.2.25** Índice de clorofila de la parcela IV-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-1-SR: En la figura 4.2.26 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela IV-1-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en las semanas 05 y 06 con un valor máximo de 0.33 y un mínimo de 0.16 en la semana 13.



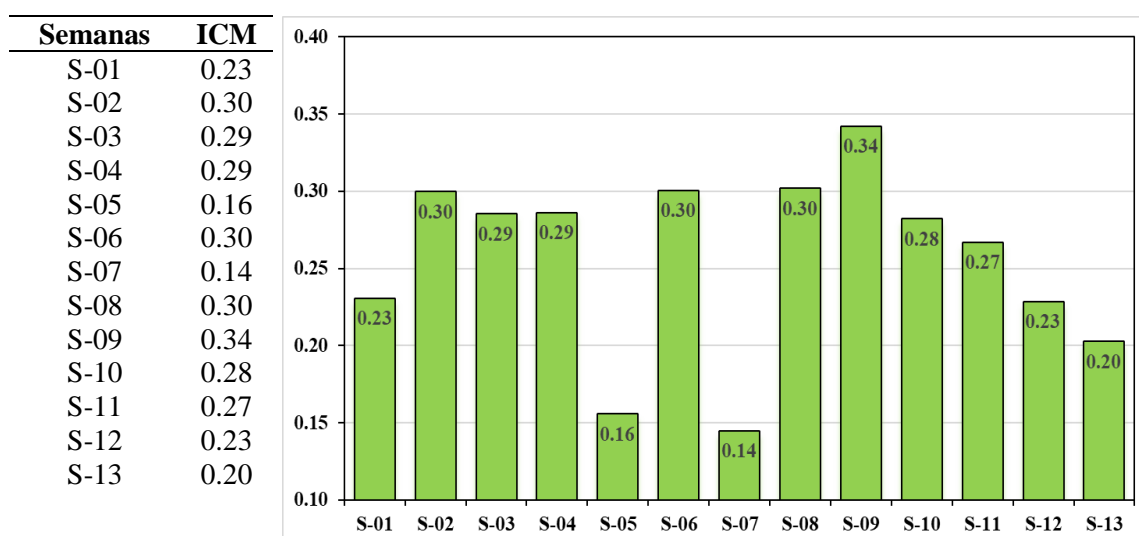
**Figura 4.2.26** Índice de clorofila de la parcela IV-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-2-CR: En la figura 4.2.27 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela IV-2-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en las semanas 07 y 09 con un valor máximo de 0.32 y un mínimo de 0.13 en la semana 06.



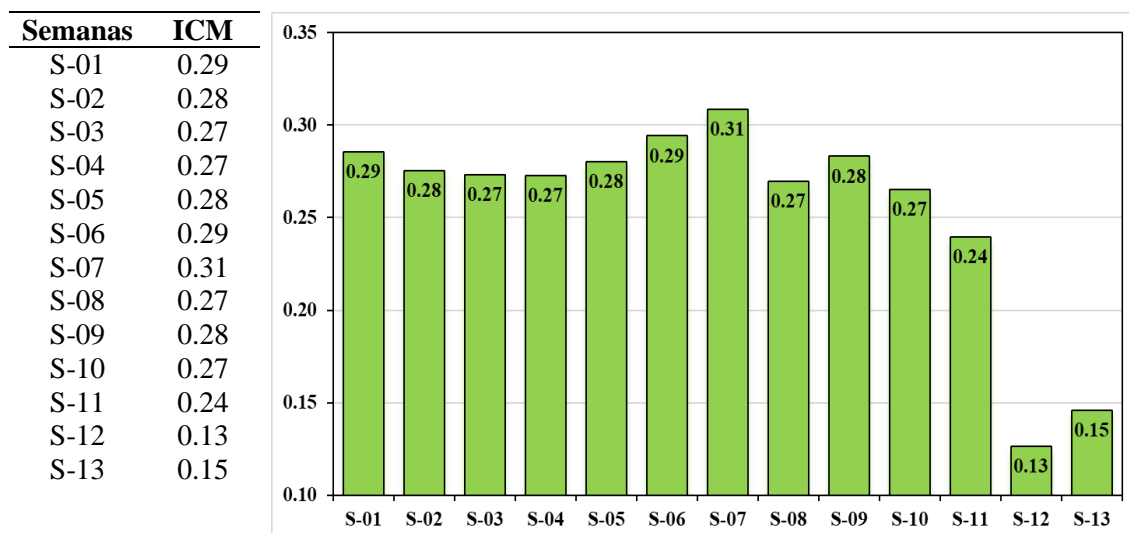
**Figura 4.2.27** Índice de clorofila de la parcela IV-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-2-SR: En la figura 4.2.28 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela IV-2-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 09 con un valor máximo de 0.34 y un mínimo de 0.14 en la semana 07.



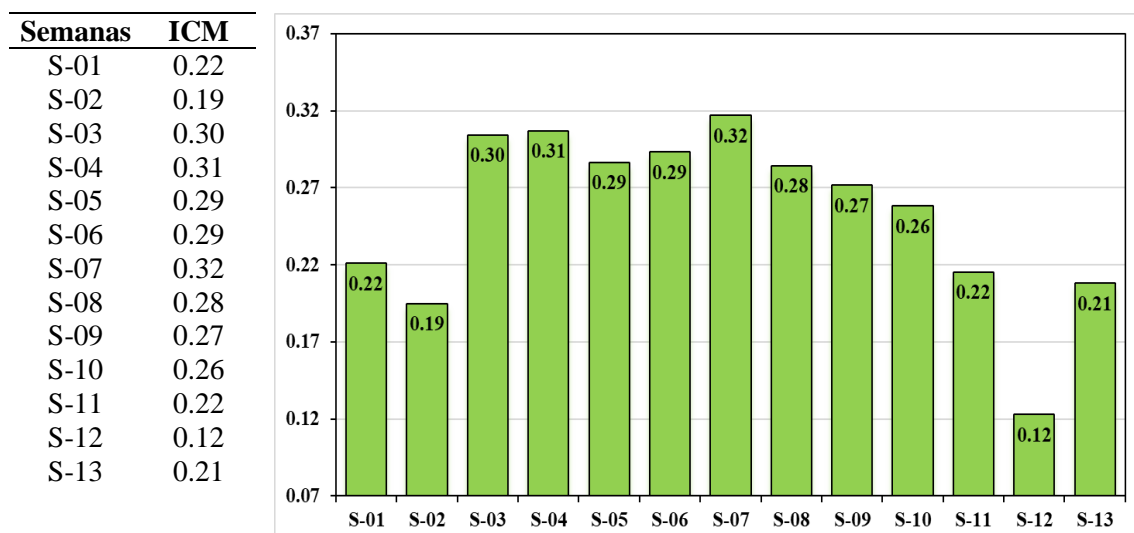
**Figura 4.2.28** Índice de clorofila de la parcela IV-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-3-CR: En la figura 4.2.29 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela IV-3-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 07 con un valor máximo de 0.31 y un mínimo de 0.13 en la semana 12.



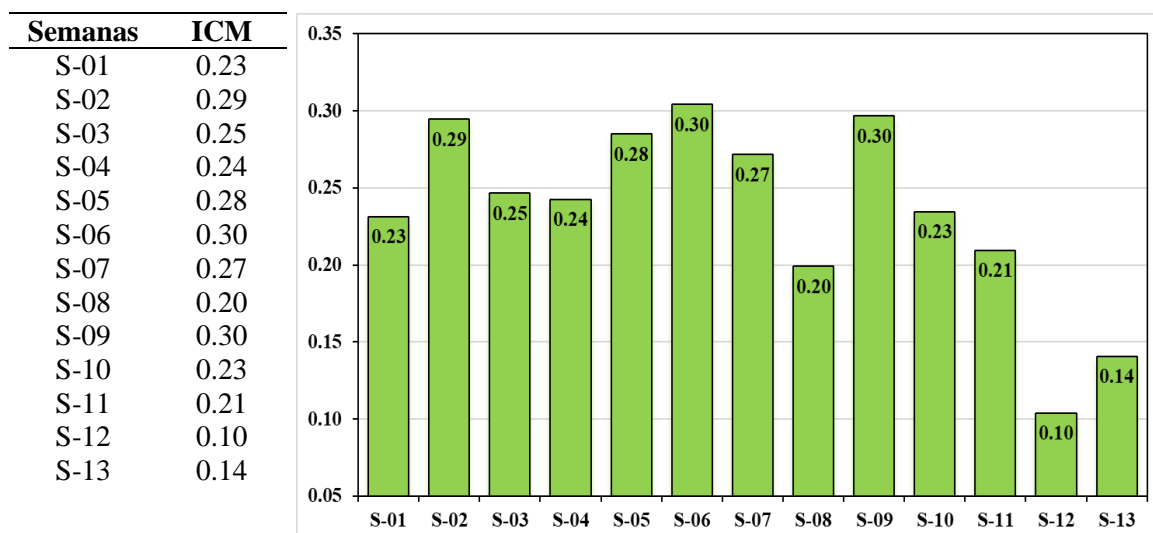
**Figura 4.2.29** Índice de clorofila de la parcela IV-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-3-SR: En la figura 4.2.30 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela IV-3-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 07 con un valor máximo de 0.32 y un mínimo de 0.12 en la semana 12.



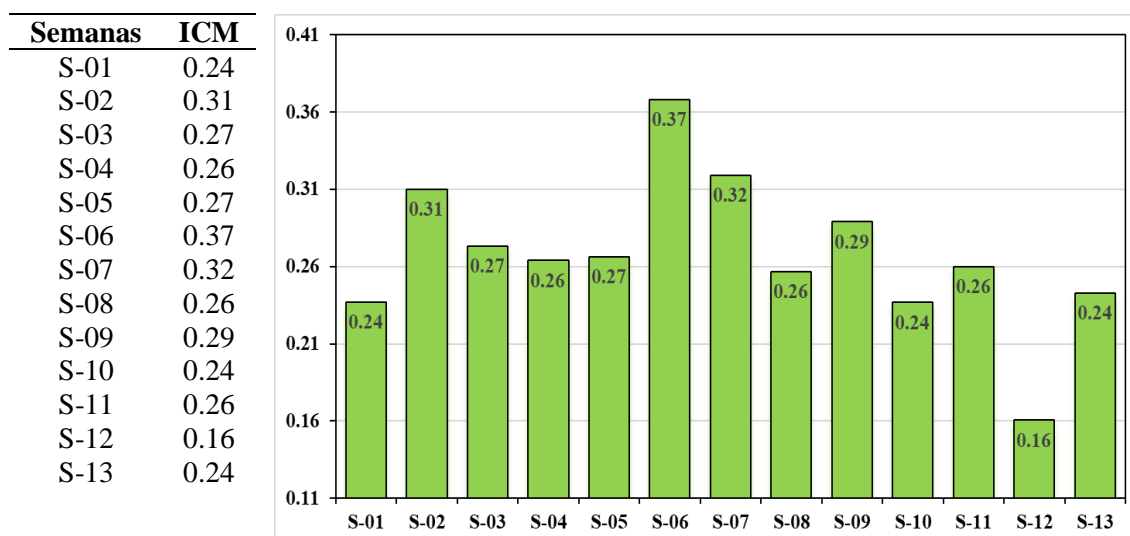
**Figura 4.2.30** Índice de clorofila de la parcela IV-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-4-CR: En la figura 4.2.31 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela IV-4-CR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en las semanas 06 y 09 con un valor máximo de 0.30 y un mínimo de 0.10 en la semana 12.



**Figura 4.2.31** Índice de clorofila de la parcela IV-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

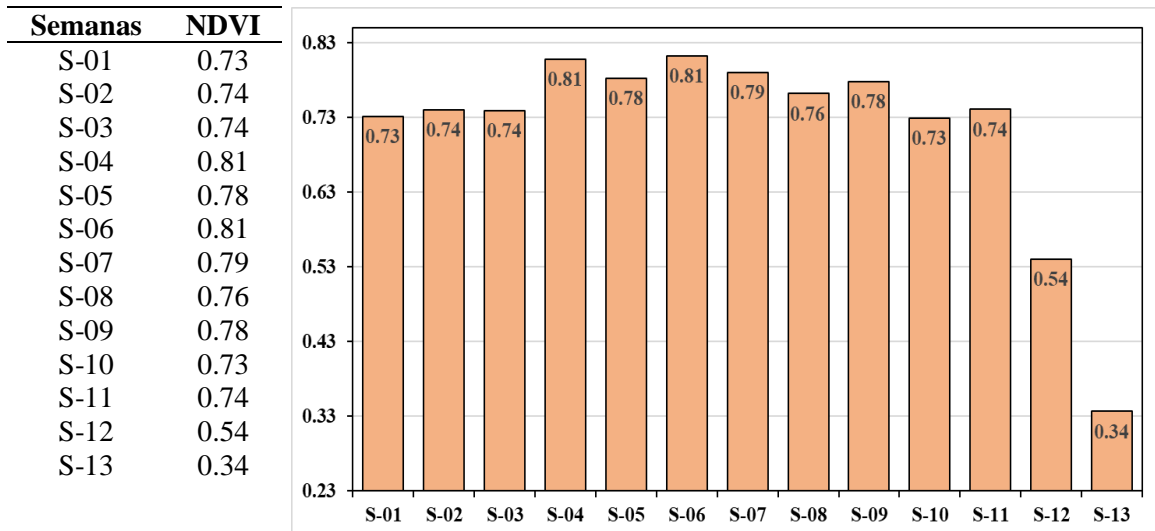
- Parcela IV-4-SR: En la figura 4.2.32 se observa los valores del ICM de las 13 semanas, parcela IV-4-SR, teniendo un mayor índice de clorofila alcanzada en la semana 07 con un valor máximo de 0.37 y un mínimo de 0.16 en la semana 12.



**Figura 4.2.32** Índice de clorofila de la parcela IV-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

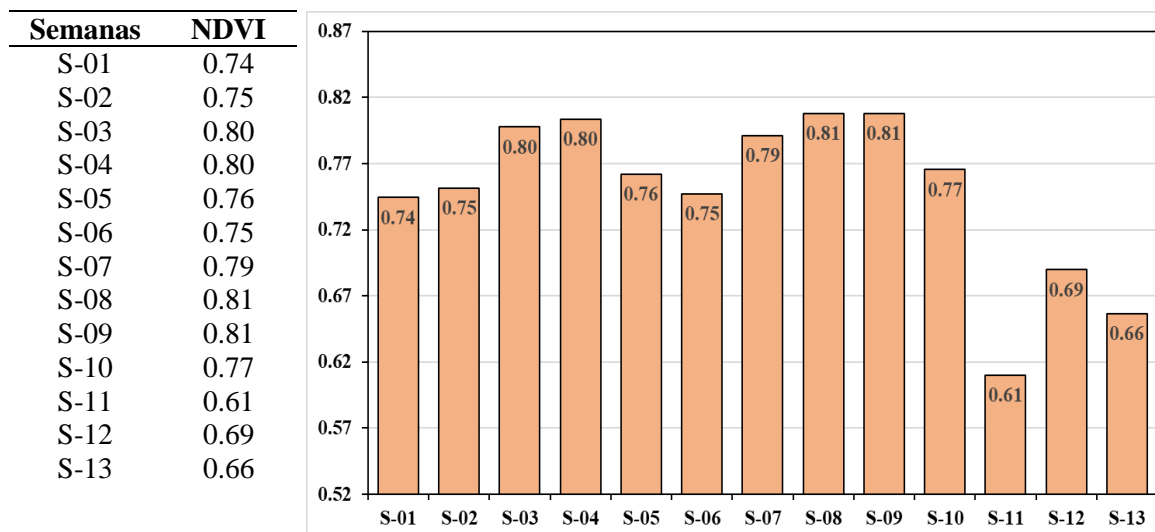
**4.3. Estimación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (*Phaseolus vulgaris*) a partir de los valores de reflectancia de las firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento.**

- Parcela I-1-CR: En la figura 4.3.1 se observa los valores del índice de diferencia normalizada (NDVI) de las 13 semanas de la parcela I-1-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 04 y 06 con un valor máximo de 0.81 y un mínimo de 0.34 en la semana 13.



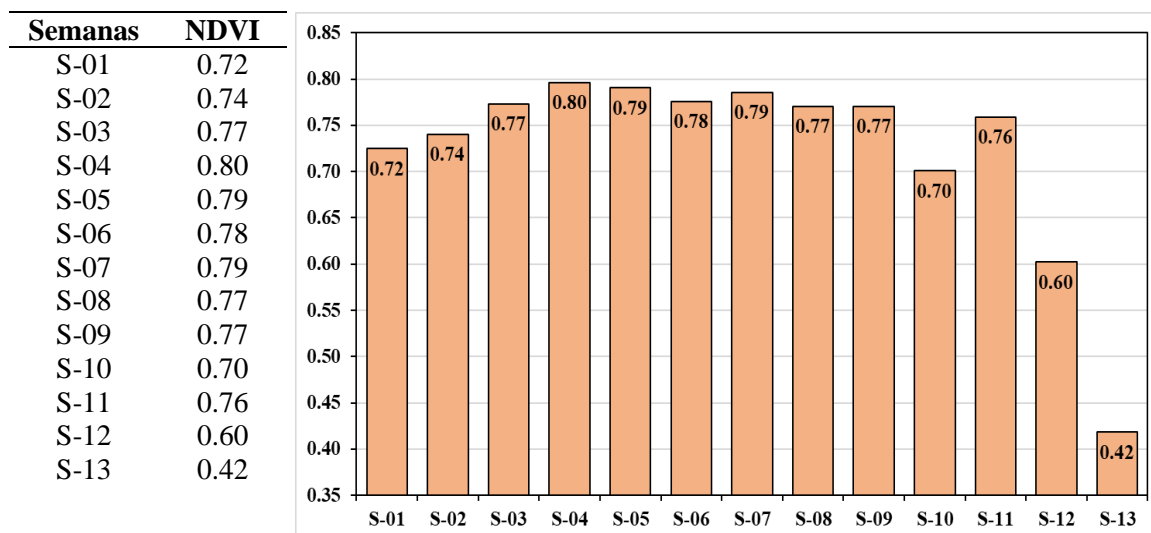
**Figura 4.3.1** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-1-SR: En la figura 4.3.2 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela I-1-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 08 y 09 con un valor máx. de 0.81 y un mínimo de 0.61 en la semana 11.



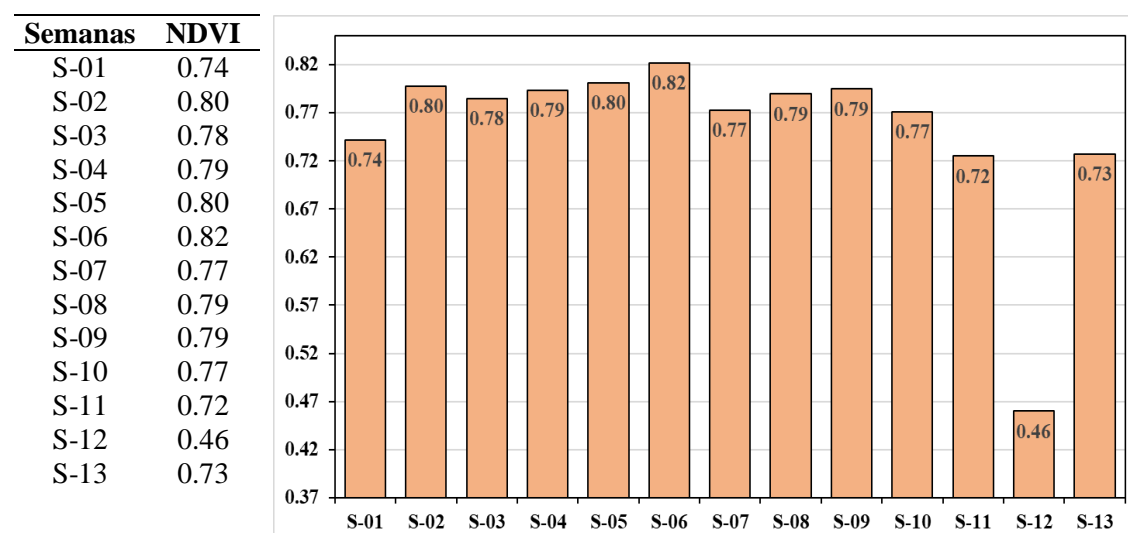
**Figura 4.3.2** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-2-CR: En la figura 4.3.3 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela I-2-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 04 con un valor máximo de 0.80 y un mínimo de 0.42 en la semana 13.



**Figura 4.3.3** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

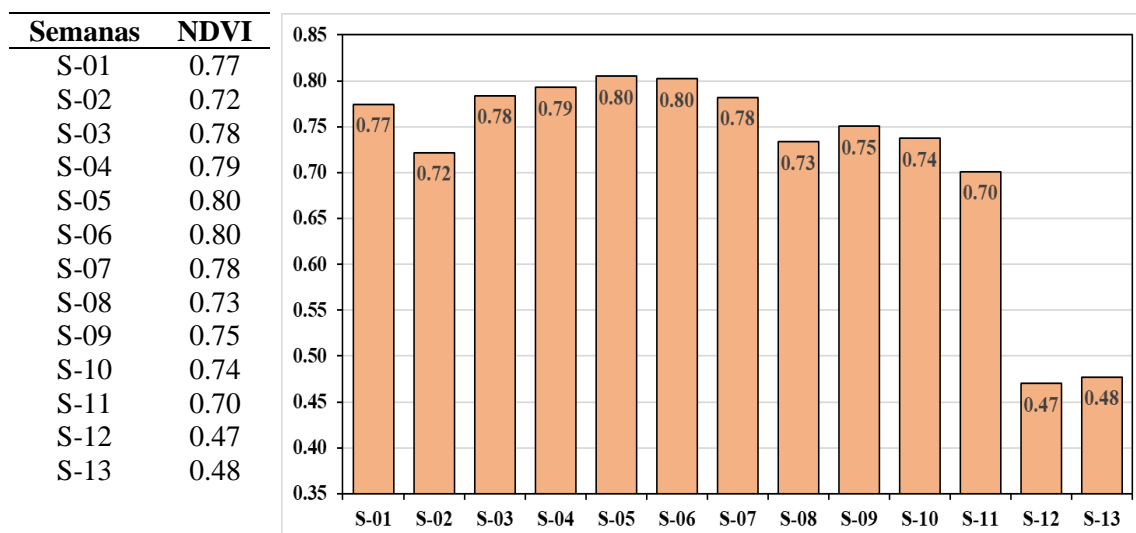
- Parcela I-2-SR: En la figura 4.3.4 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela I-2-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 06 con un valor máximo de 0.82 y un mínimo de 0.46 en la semana 12.



**Figura 4.3.4** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

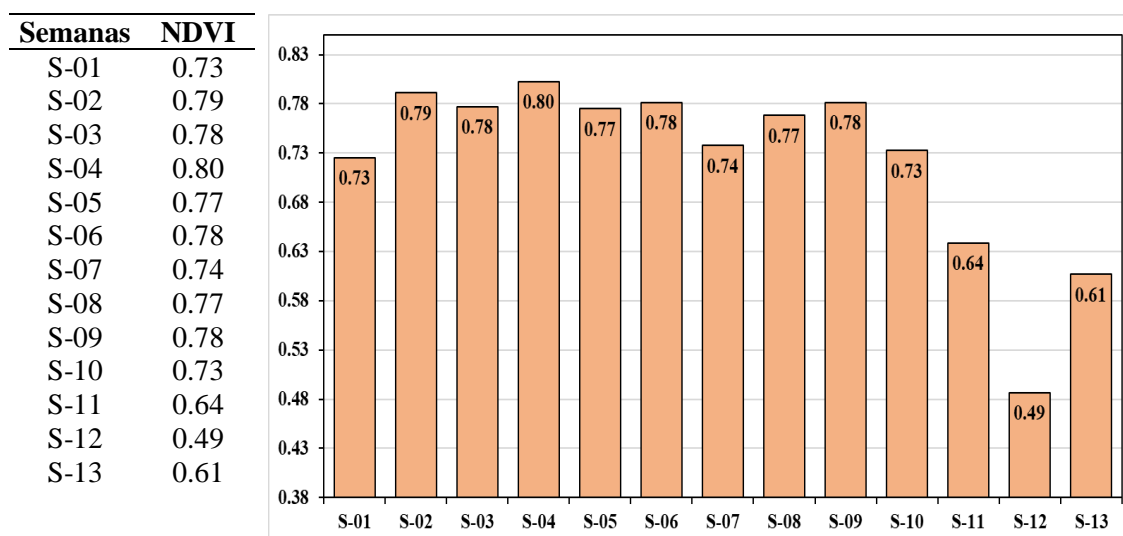


- Parcela I-3-CR: En la figura 4.3.5 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela I-3-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 05 y 06 con un valor máximo de 0.80 y un mínimo de 0.47 en la semana 12.



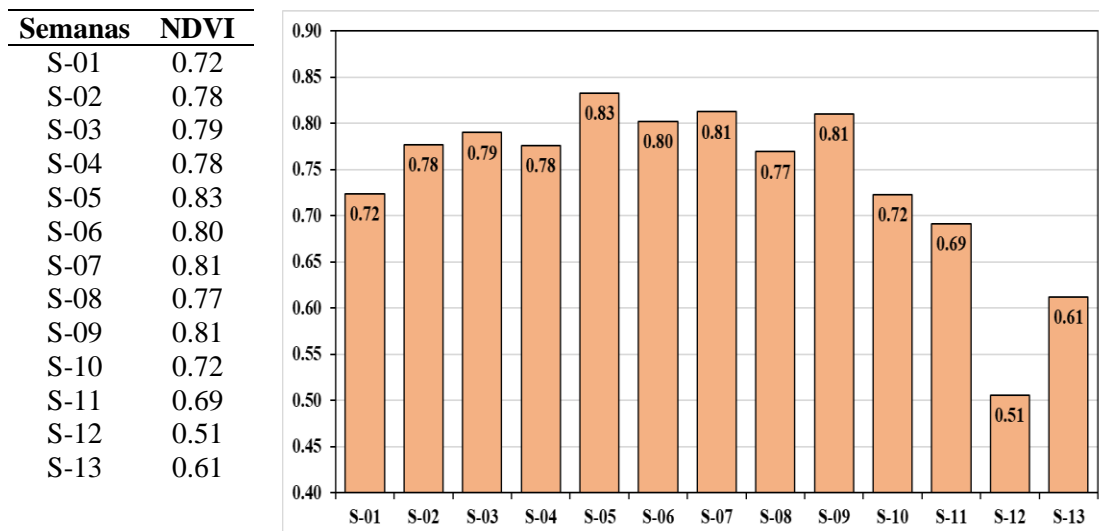
**Figura 4.3.5** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-3-SR: En la figura 4.3.6 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela I-3-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 04 con un valor máximo de 0.80 y un mínimo de 0.49 en la semana 12.



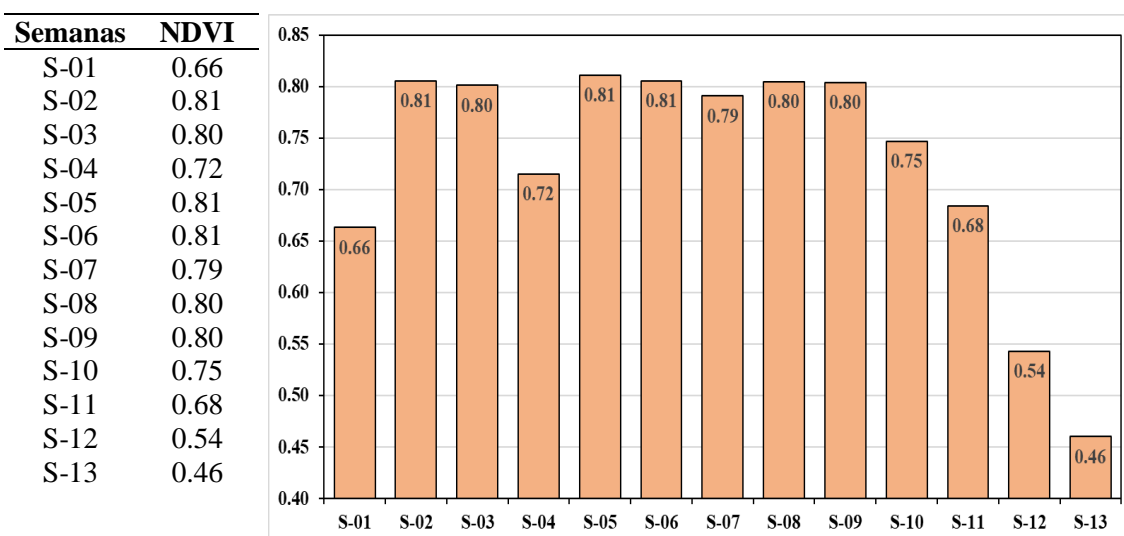
**Figura 4.3.6** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-4-CR: En la figura 4.3.7 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela I-4-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 05 con un valor máximo de 0.83 y un mínimo de 0.51 en la semana 12.



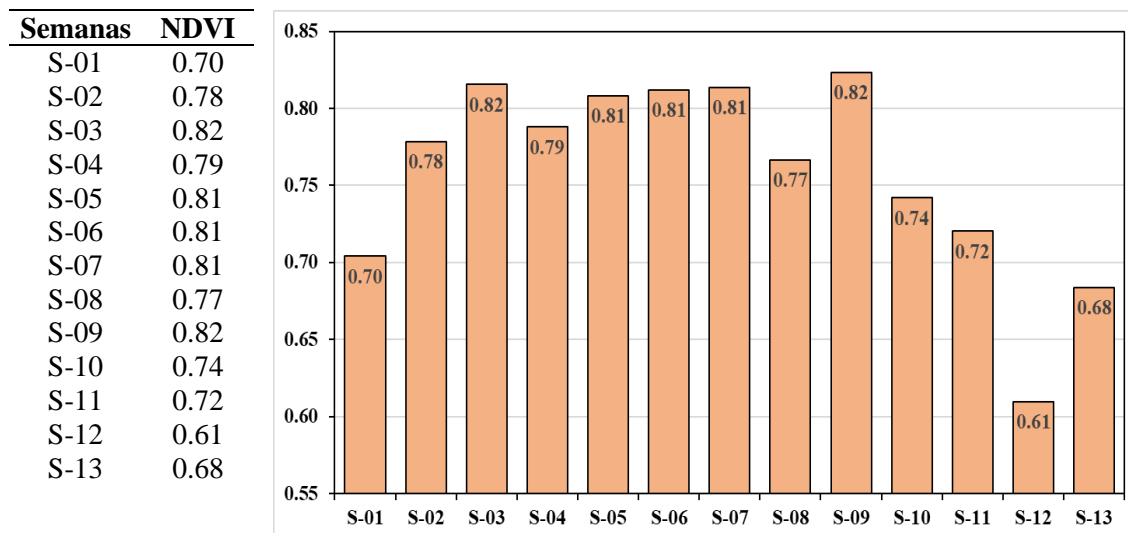
**Figura 4.3.7** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela I-4-SR: En la figura 4.3.8 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela I-4-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 02, 05 y 06 con un valor máximo de 0.81 y un mínimo de 0.46 en la semana 13.



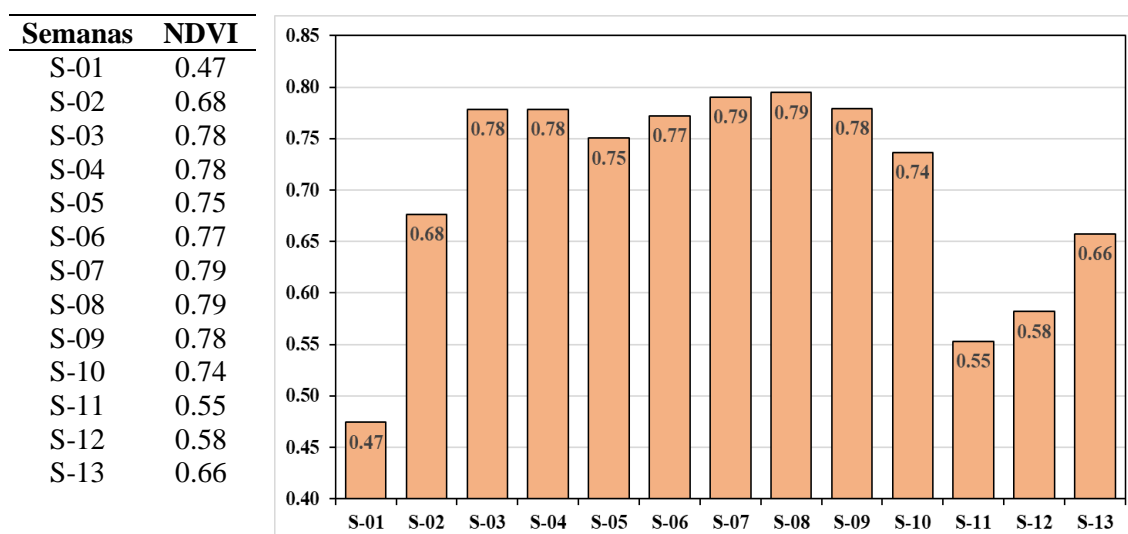
**Figura 4.3.8** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela I-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-1-CR: En la figura 4.3.9 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela II-1-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 03 y 09 con un valor máximo de 0.81 y un mínimo de 0.61 en la semana 12.



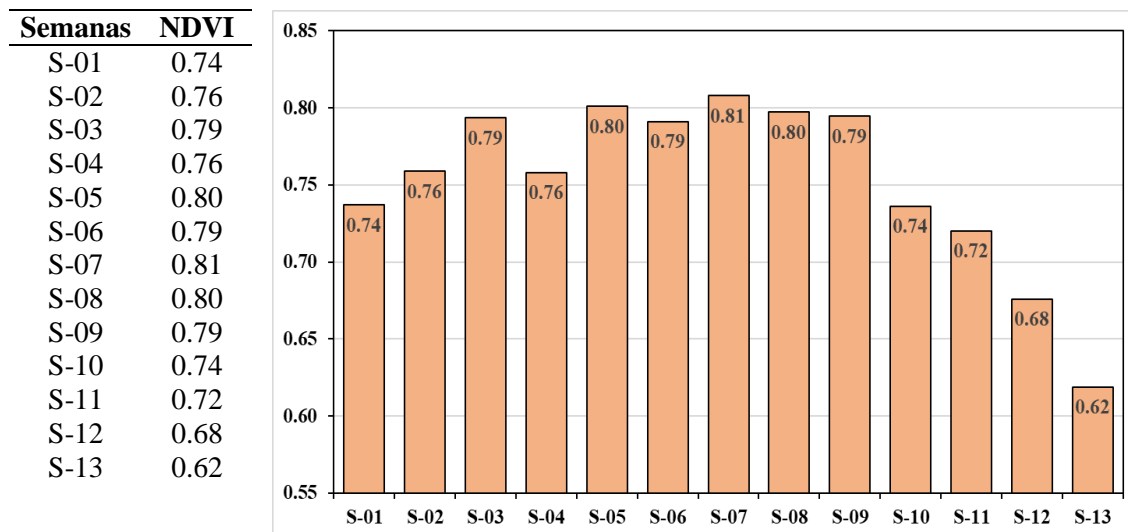
**Figura 4.3.9** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-1-SR: En la figura 4.3.10 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela II-1-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 07 y 08 con un valor máximo de 0.79 y un mínimo de 0.47 en la semana 01.



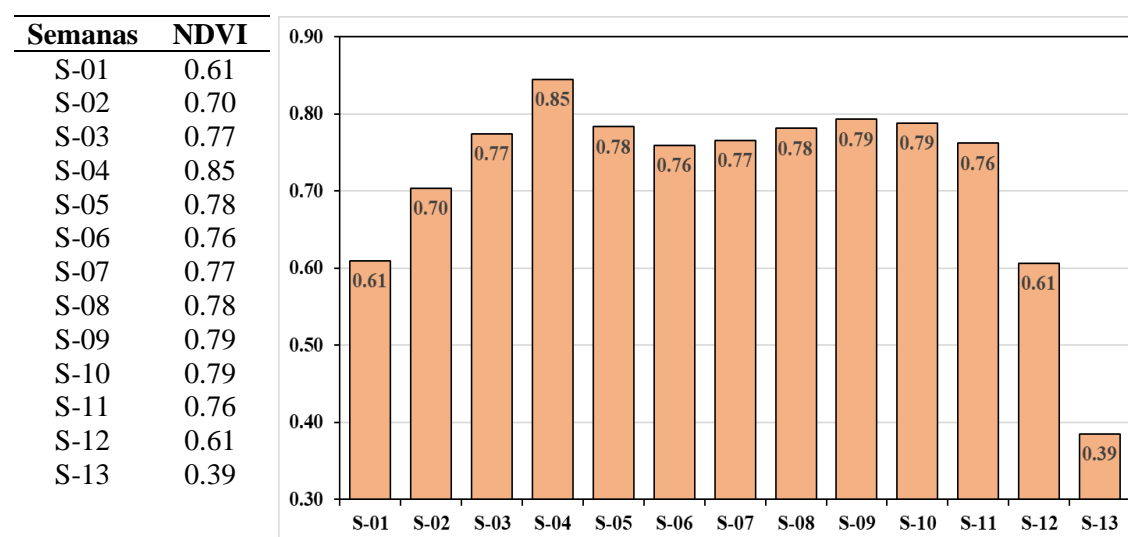
**Figura 4.3.10** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-2-CR: En la figura 4.3.11 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas de la parcela II-2-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 07 con un valor máximo de 0.81 y un valor mínimo de 0.62 en la semana 13.



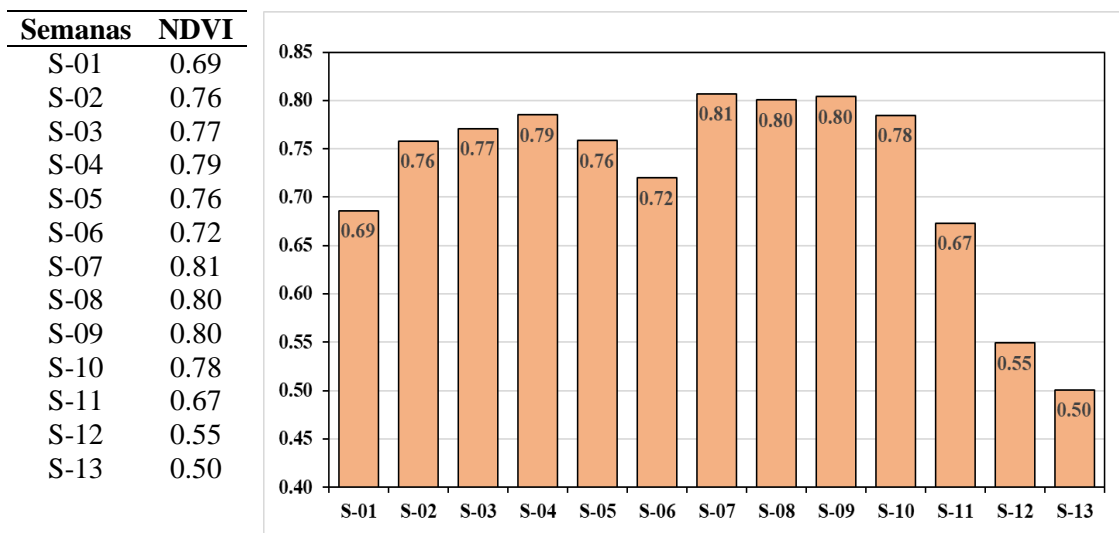
**Figura 4.3.11** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-2-SR: En la figura 4.3.12 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas de la parcela II-2-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 04 con un valor máximo de 0.85 y un valor mínimo de 0.39 en la semana 13.



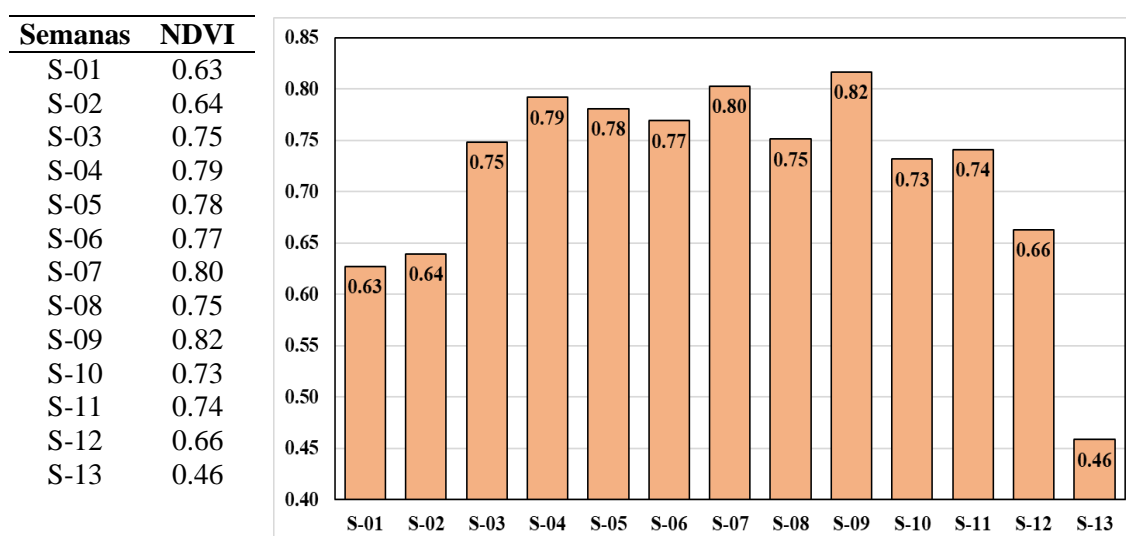
**Figura 4.3.12** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-3-CR: En la figura 4.3.13 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas de la parcela II-3-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 07 con un valor máximo de 0.81 y un valor mínimo de 0.50 en la semana 13.



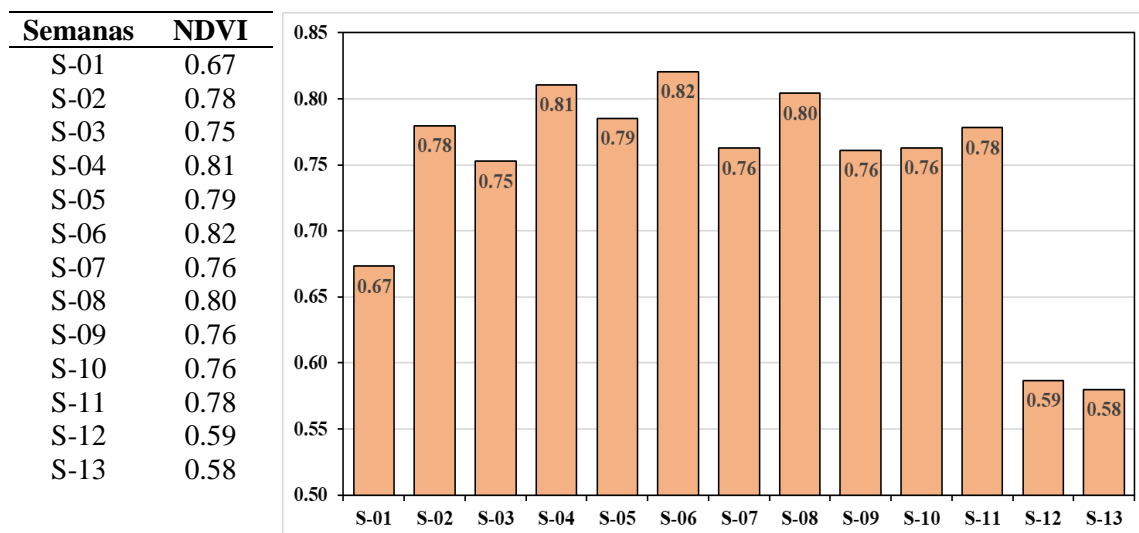
**Figura 4.3.13** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-3-SR: En la figura 4.3.14 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela II-3-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 09 con un valor máximo de 0.82 y un mínimo de 0.46 en la semana 13.



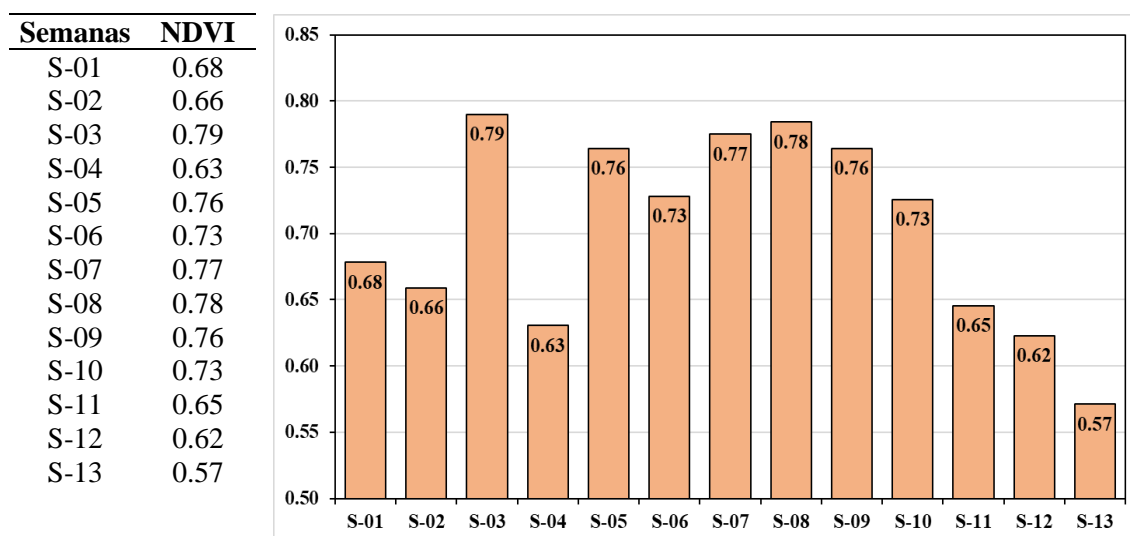
**Figura 4.3.14** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-4-CR: En la figura 4.3.15 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas de la parcela II-4-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 06 con un valor máximo de 0.82 y un mínimo de 0.58 en la semana 13.



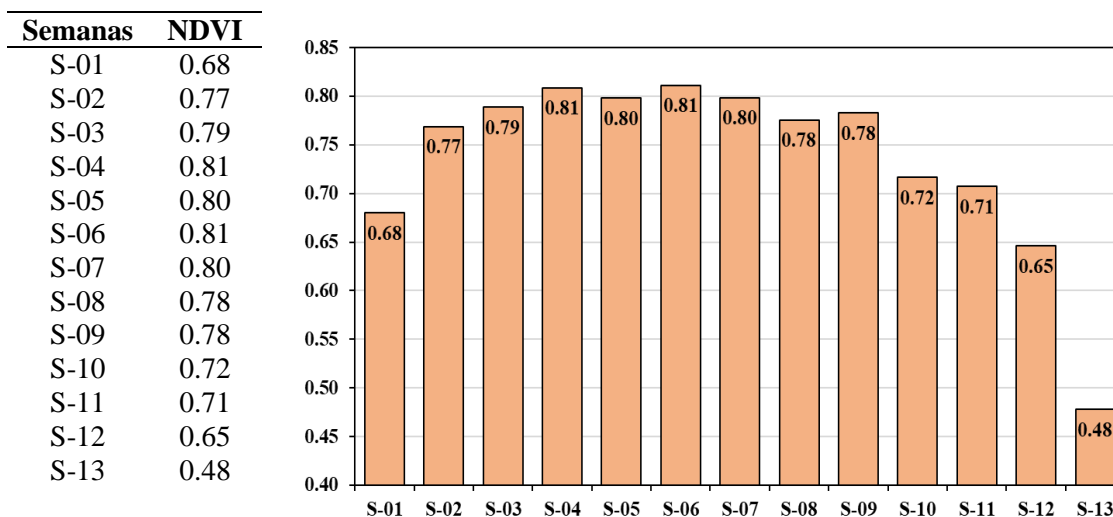
**Figura 4.3.15** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela II-4-SR: En la figura 4.3.16 se observa los valores del índice de diferencia normalizada (NDVI) de las 13 semanas, parcela II-4-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 03 con un valor máximo de 0.79 y un mínimo de 0.57 en la semana 13.



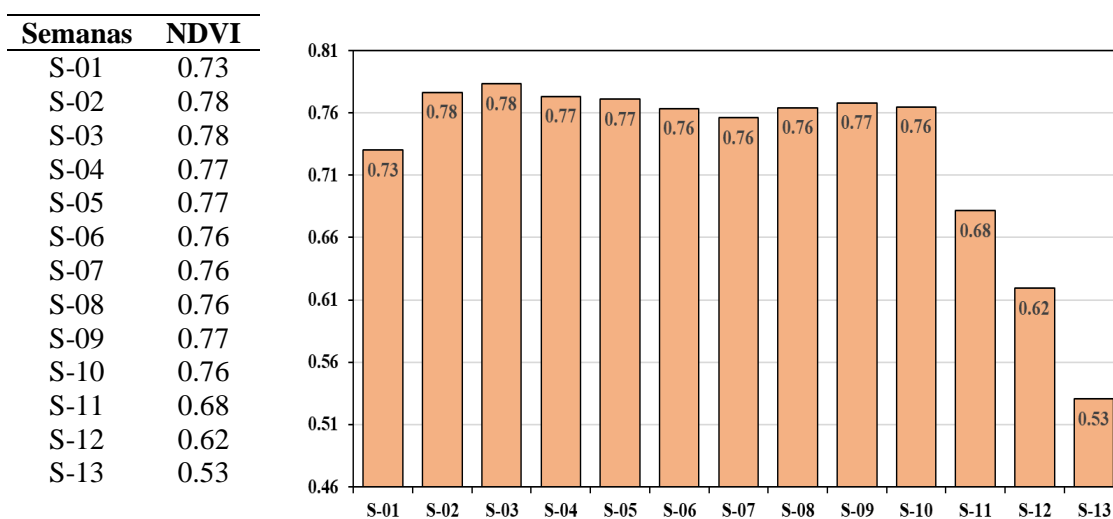
**Figura 4.3.16** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela II-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-1-CR: En la figura 4.3.17 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela III-1-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 04 y 06 con un valor máximo de 0.81 y un mínimo de 0.48 en la semana 13.



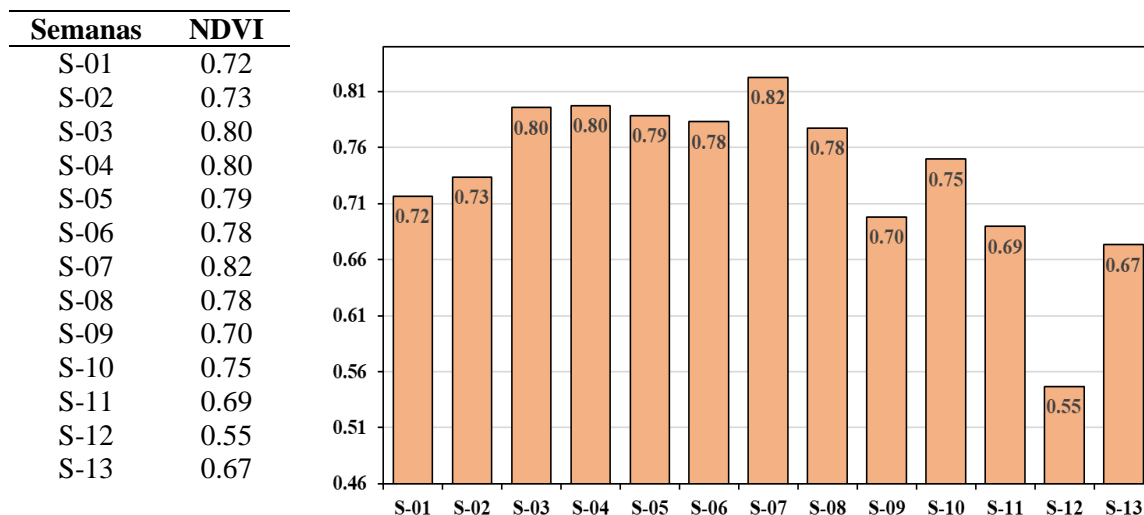
**Figura 4.3.17** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-1-SR: En la figura 4.3.18 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela III-1-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 02 y 03 con un valor máximo de 0.78 y un mínimo de 0.53 en la semana 13.



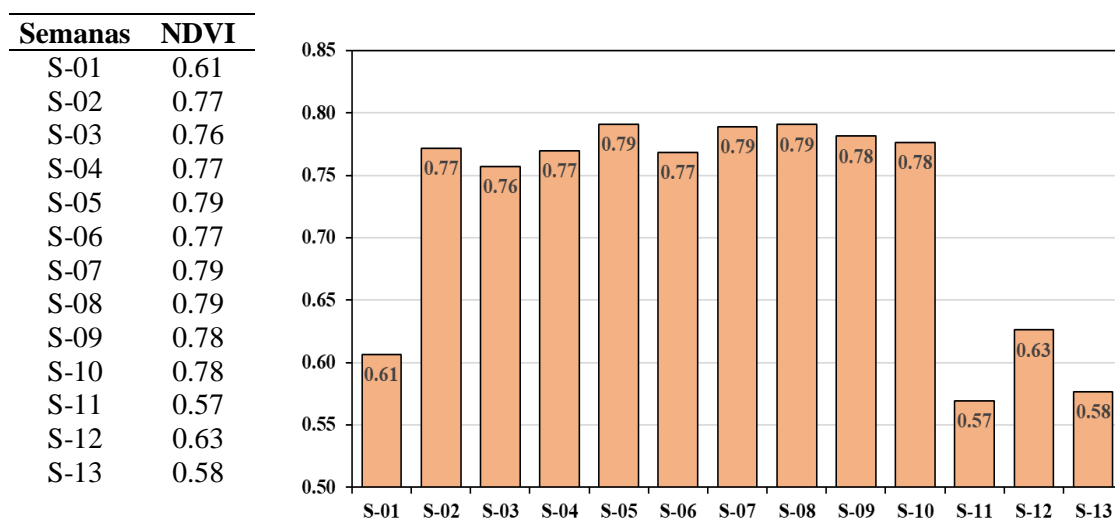
**Figura 4.3.18** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-2-CR: En la figura 4.3.19 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela III-2-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 07 con un valor máximo de 0.82 y un mínimo de 0.55 en la semana 12.



**Figura 4.3.19** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

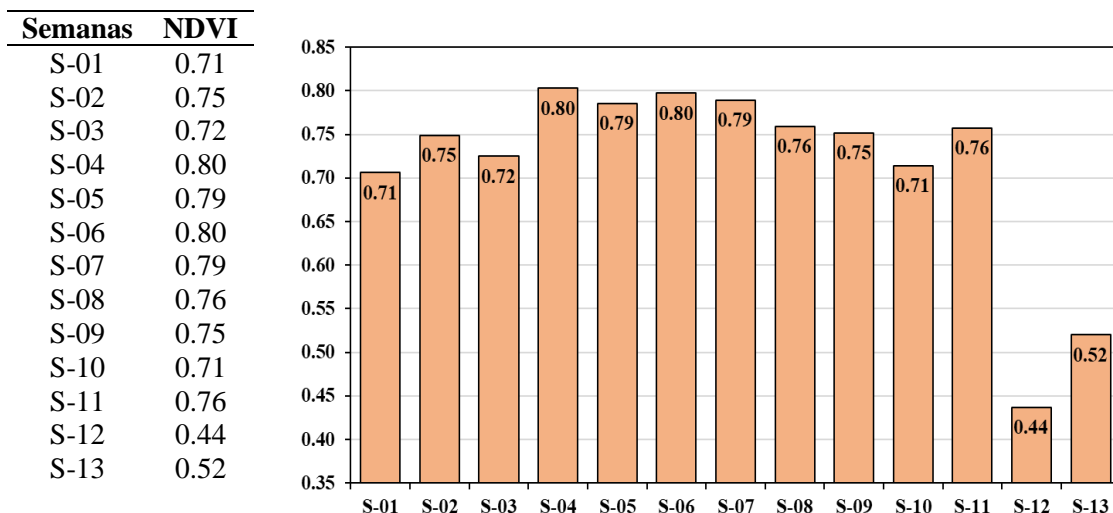
- Parcela III-2-SR: En la figura 4.3.20 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela III-2-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 05, 07 y 08 con un valor máximo de 0.79 y un mínimo de 0.57 en la semana 11.



**Figura 4.3.20** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

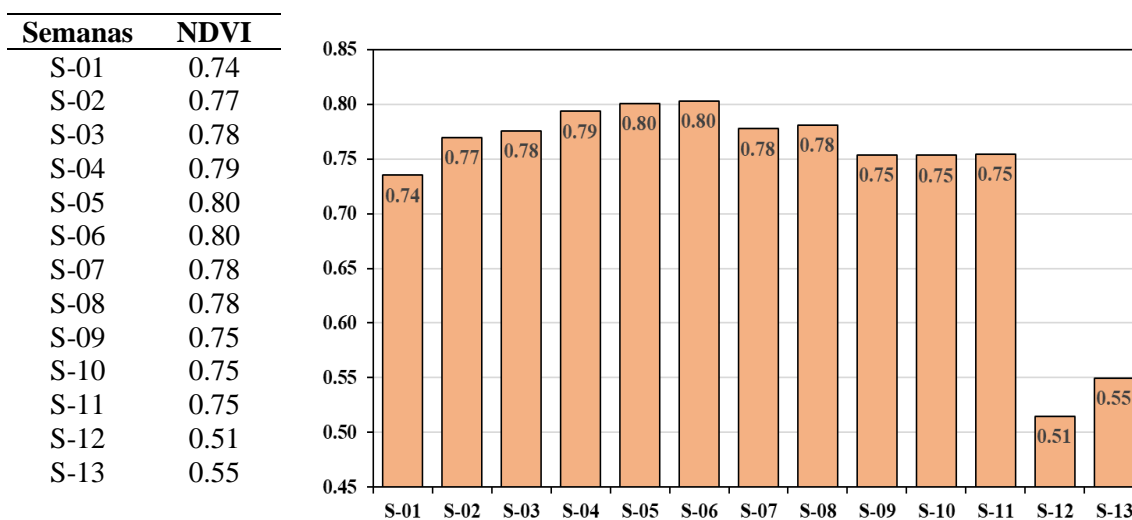


- Parcela III-3-CR: En la figura 4.3.21 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela III-3-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 04 y 06 con un valor máximo de 0.80 y un mínimo de 0.44 en la semana 12.



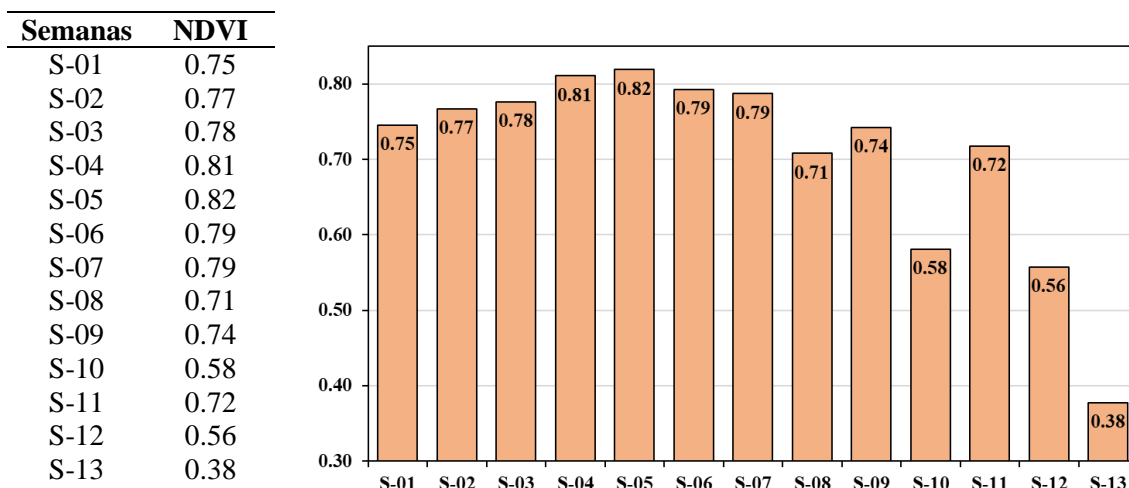
**Figura 4.3.21** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-3-SR: En la figura 4.3.22 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela III-3-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 05 y 06 con un valor máximo de 0.80 y un mínimo de 0.51 en la semana 12.



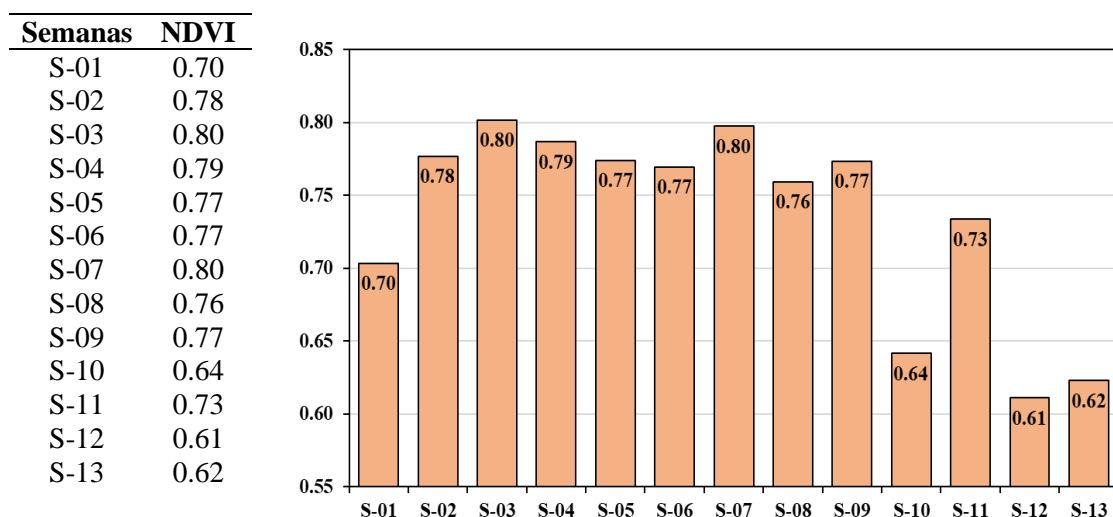
**Figura 4.3.22** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-4-CR: En la figura 4.3.23 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela III-4-CR teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 05 con un valor máximo de 0.82 y un mínimo de 0.38 en la semana 13.



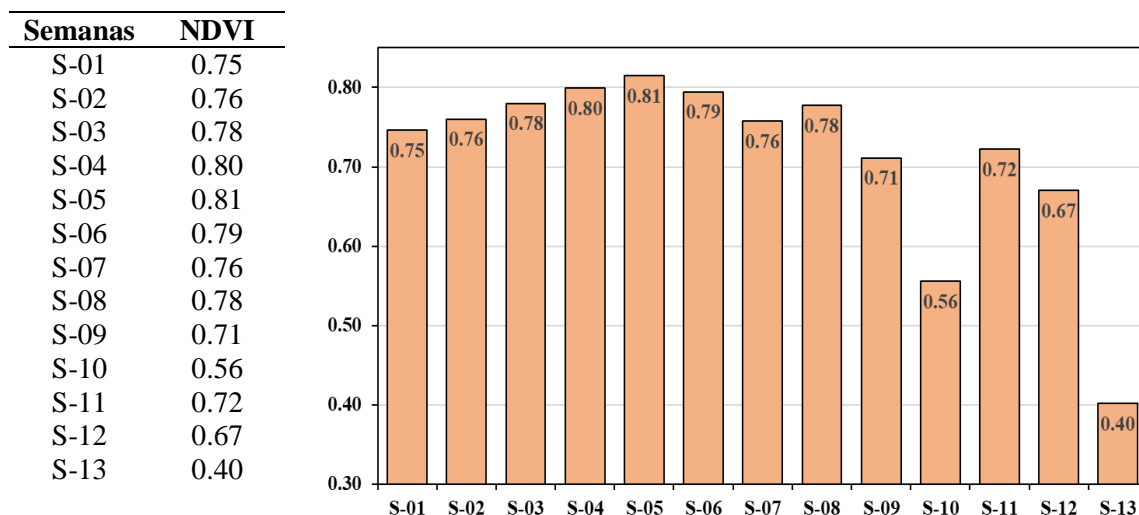
**Figura 4.3.23** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela III-4-SR: En la figura 4.3.24 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela III-4-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 03 y 07 con un valor máximo de 0.80 y un mínimo de 0.61 en la semana 12.



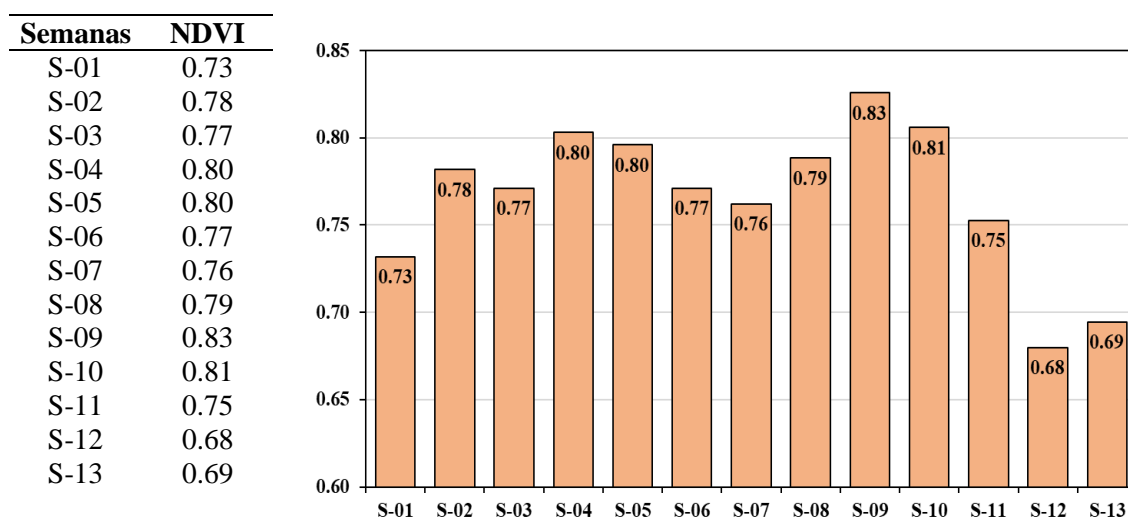
**Figura 4.3.24** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela III-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-1-CR: En la figura 4.3.25 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela IV-1-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 05 con un valor máximo de 0.81 y un mínimo de 0.40 en la semana 13.



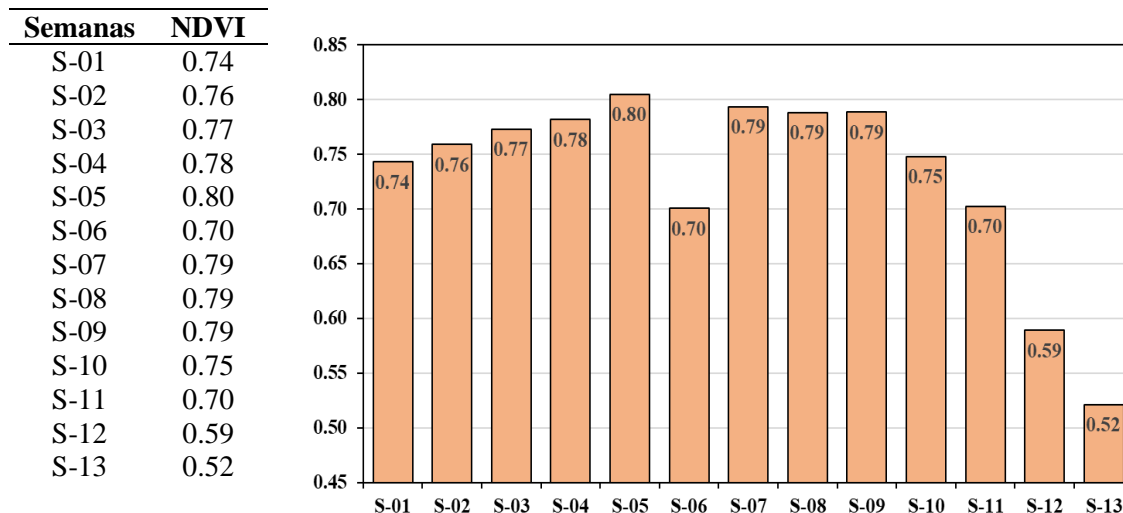
**Figura 4.3.25** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-1-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-1-SR: En la figura 4.3.26 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela IV-1-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 10 con un valor máximo de 0.83 y un mínimo de 0.68 en la semana 12.



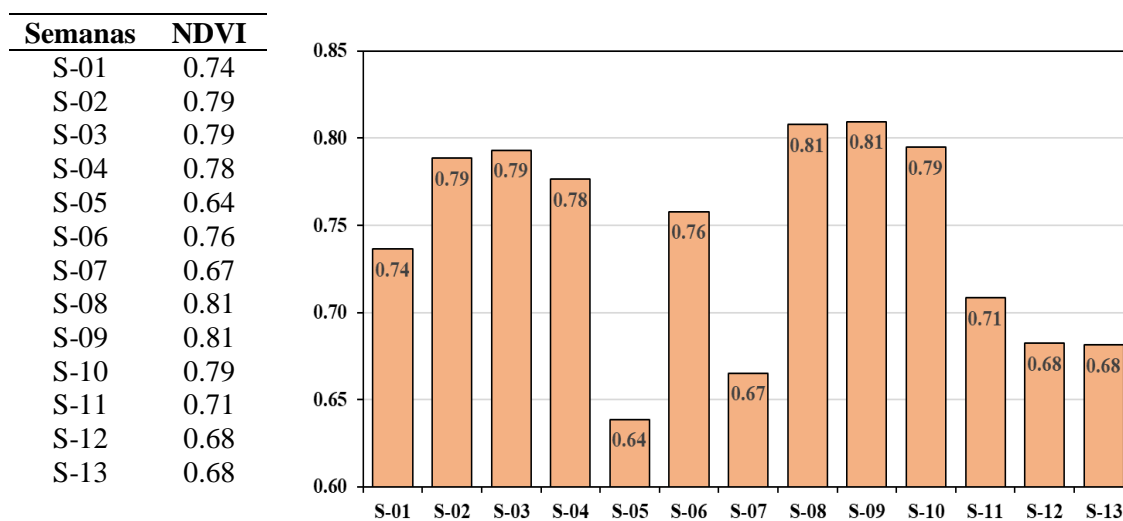
**Figura 4.3.26** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-1-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-2-CR: En la figura 4.3.27 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela IV-2-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 05 con un valor máximo de 0.80 y un mínimo de 0.52 en la semana 13.



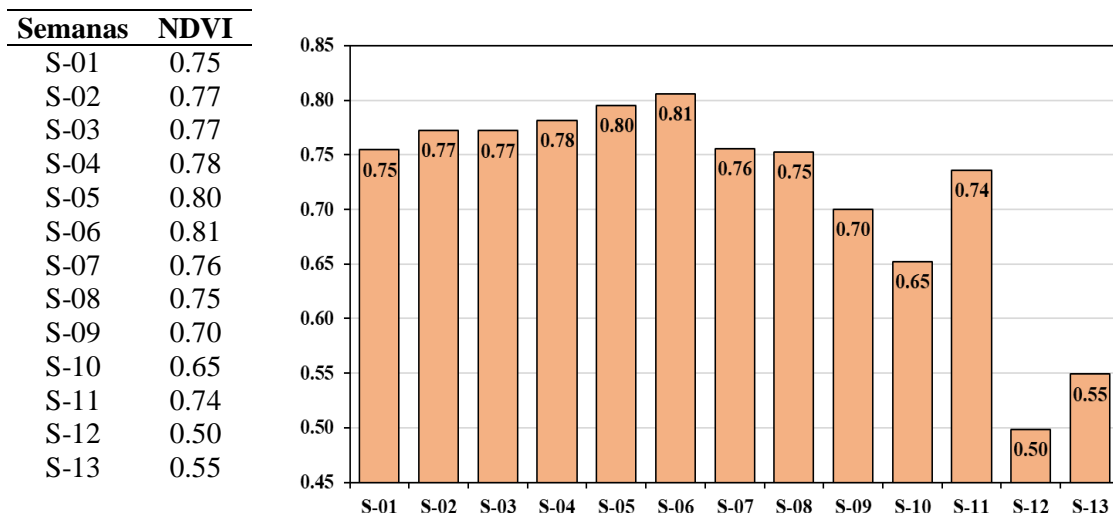
**Figura 4.3.27** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-2-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-2-SR: En la figura 4.3.28 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela IV-2-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en las semanas 08 y 09 con un valor máximo de 0.81 y un mínimo de 0.64 en la semana 05.



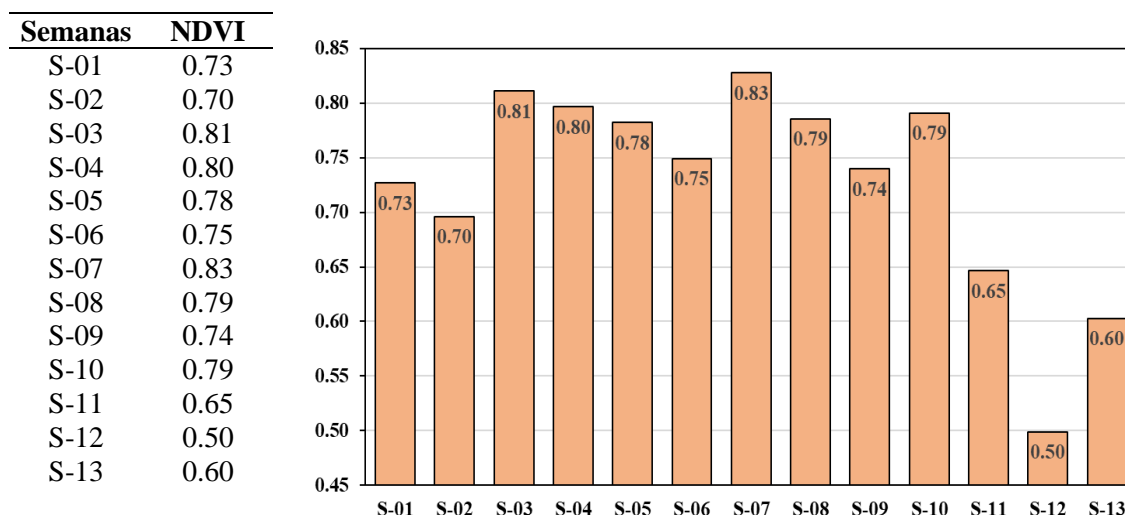
**Figura 4.3.28** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-2-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-3-CR: En la figura 4.3.29 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela IV-3-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 06 con un valor máximo de 0.81 y un mínimo de 0.50 en la semana 12.



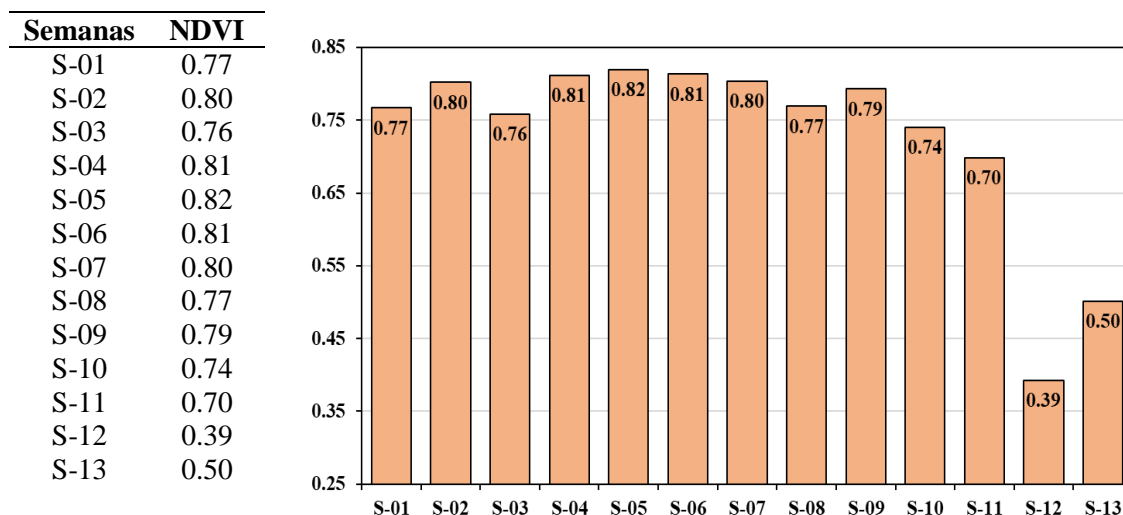
**Figura 4.3.29** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-3-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-3-SR: En la figura 4.3.30 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela IV-3-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 07 con un valor máximo de 0.83 y un mínimo de 0.50 en la semana 12.



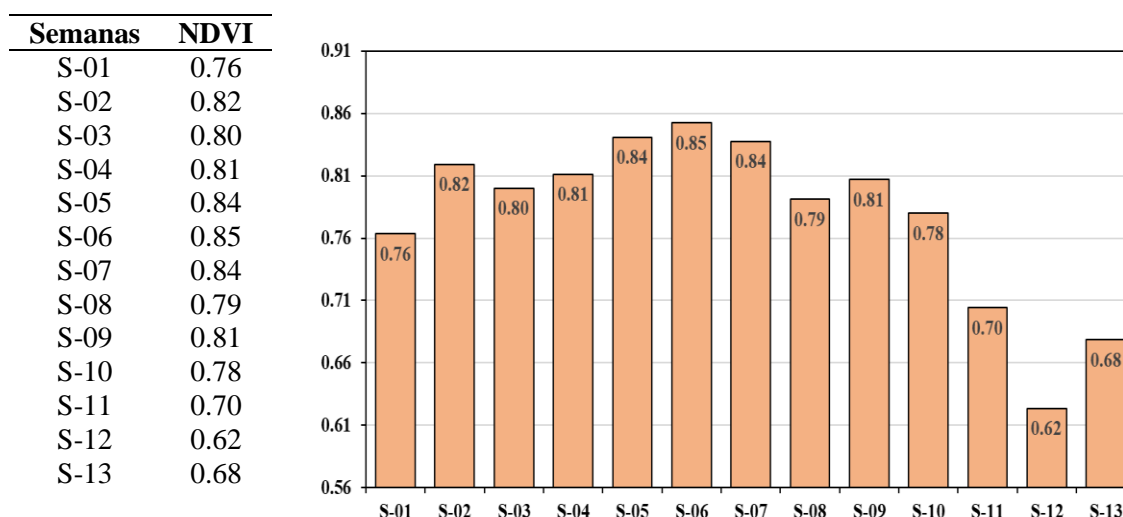
**Figura 4.3.30** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-3-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-4-CR: En la figura 4.3.31 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela IV-4-CR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 05 con un valor máximo de 0.82 y un mínimo de 0.39 en la semana 12.



**Figura 4.3.31** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-4-CR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

- Parcela IV-4-SR: En la figura 4.3.32 se observa los valores del NDVI de las 13 semanas, parcela IV-4-SR, teniendo un mayor índice de NDVI que se da en la semana 06 con un valor máximo de 0.85 y un mínimo de 0.62 en la semana 12.

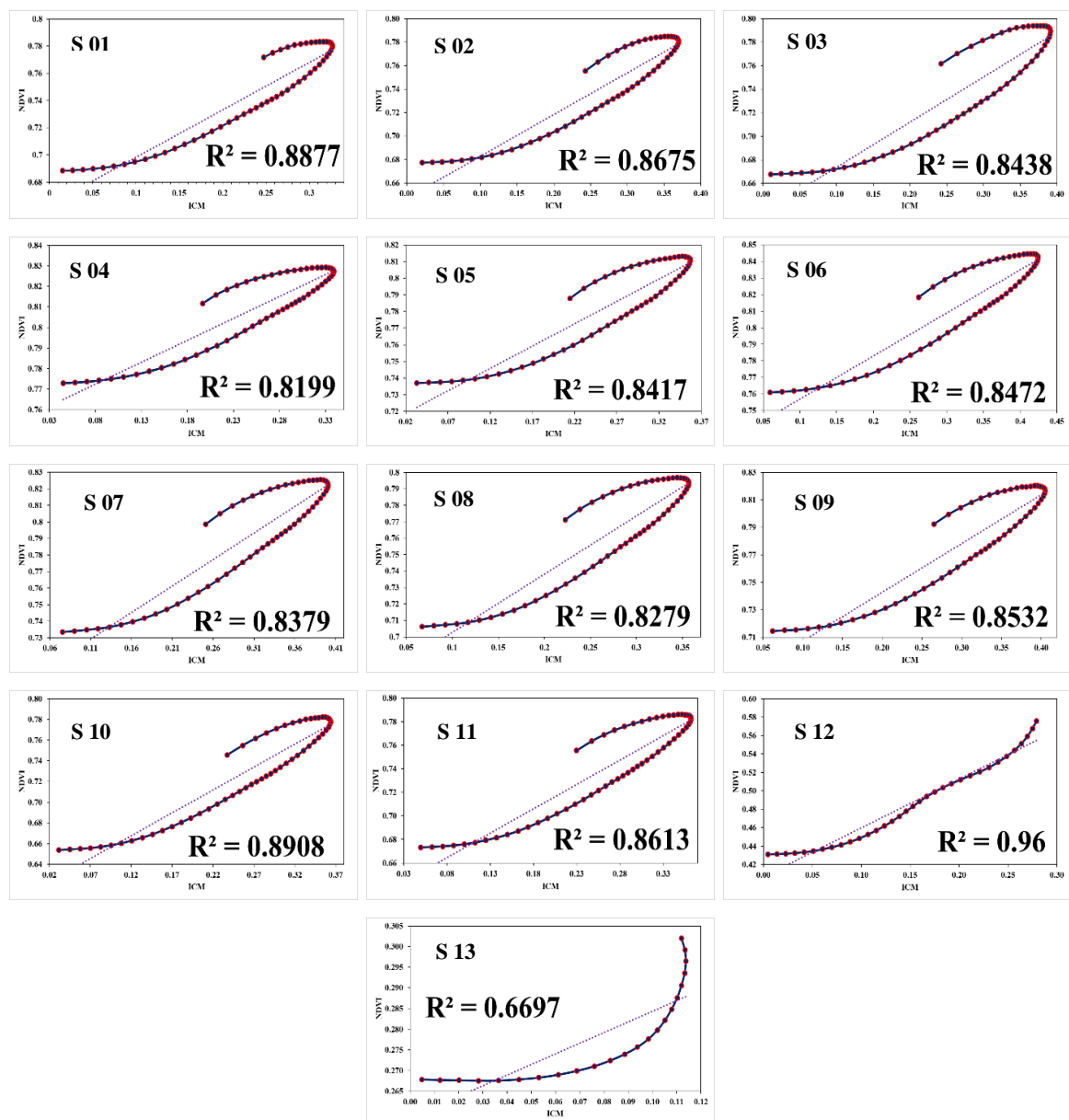


**Figura 4.3.32** Índice de diferencia normalizada (NDVI) de la parcela IV-4-SR durante todo el crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH, Huamanga.

**4.4. Correlación entre el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con respecto al índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), en sus distintas etapas de crecimiento.**

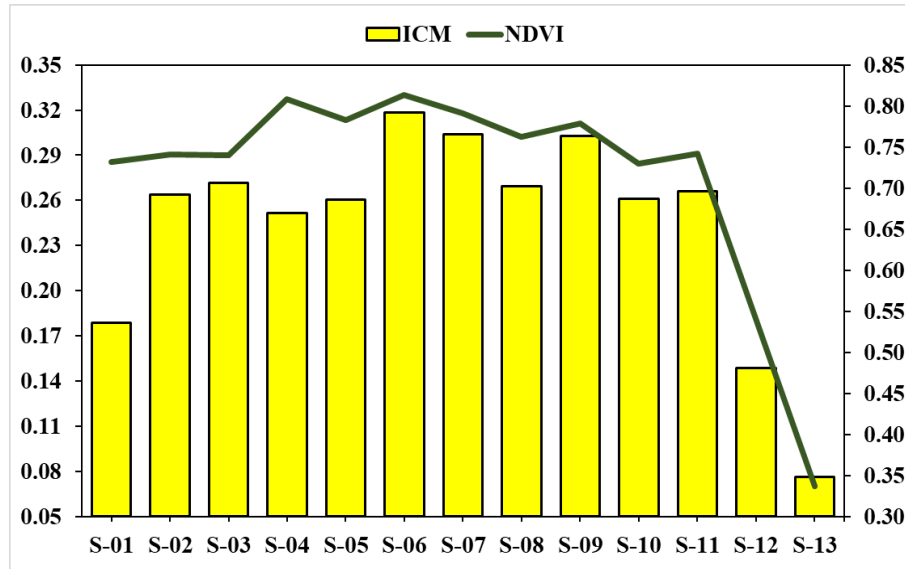
La figura 4.4.1, muestra la correlación del NDVI con respecto al ICM en sus distintas etapas de crecimiento en las diferentes parcelas:

- Parcela I-1-CR: En la figura 4.4.1 se observa una correlación máxima en la semana 12 de 0.96 y una baja correlación en la semana 13 de 0.6697.



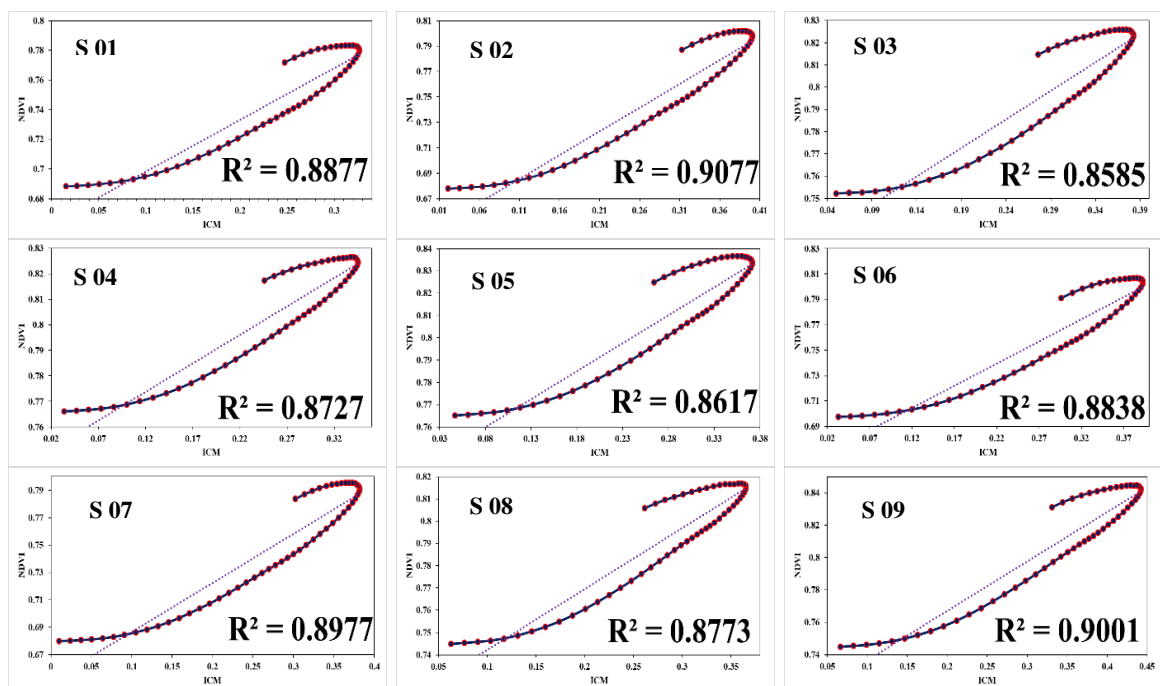
**Figura 4.4.1.** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-1-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.2 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela I-1-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en las semanas 02, 03, 05 a la 13, siendo las semanas 01 y 04 del ICM las que muestran valores anómalos.

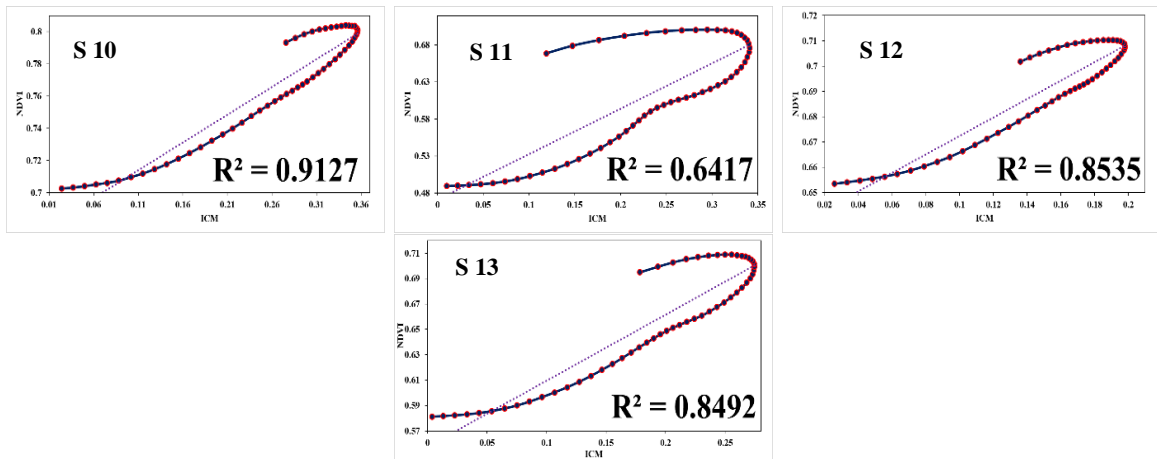


**Figura 4.4.2** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-1-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

➤ Parcela I-1-SR: En la figura 4.4.3 se observa que en la semana 10 se tiene una máxima correlación de 0.9127 y una baja correlación en la semana 11 de 0.6417.

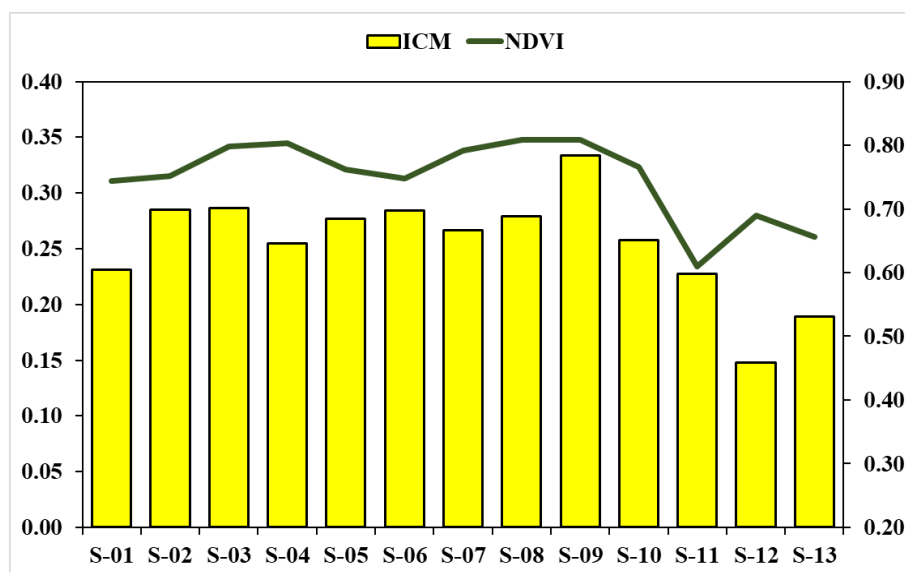






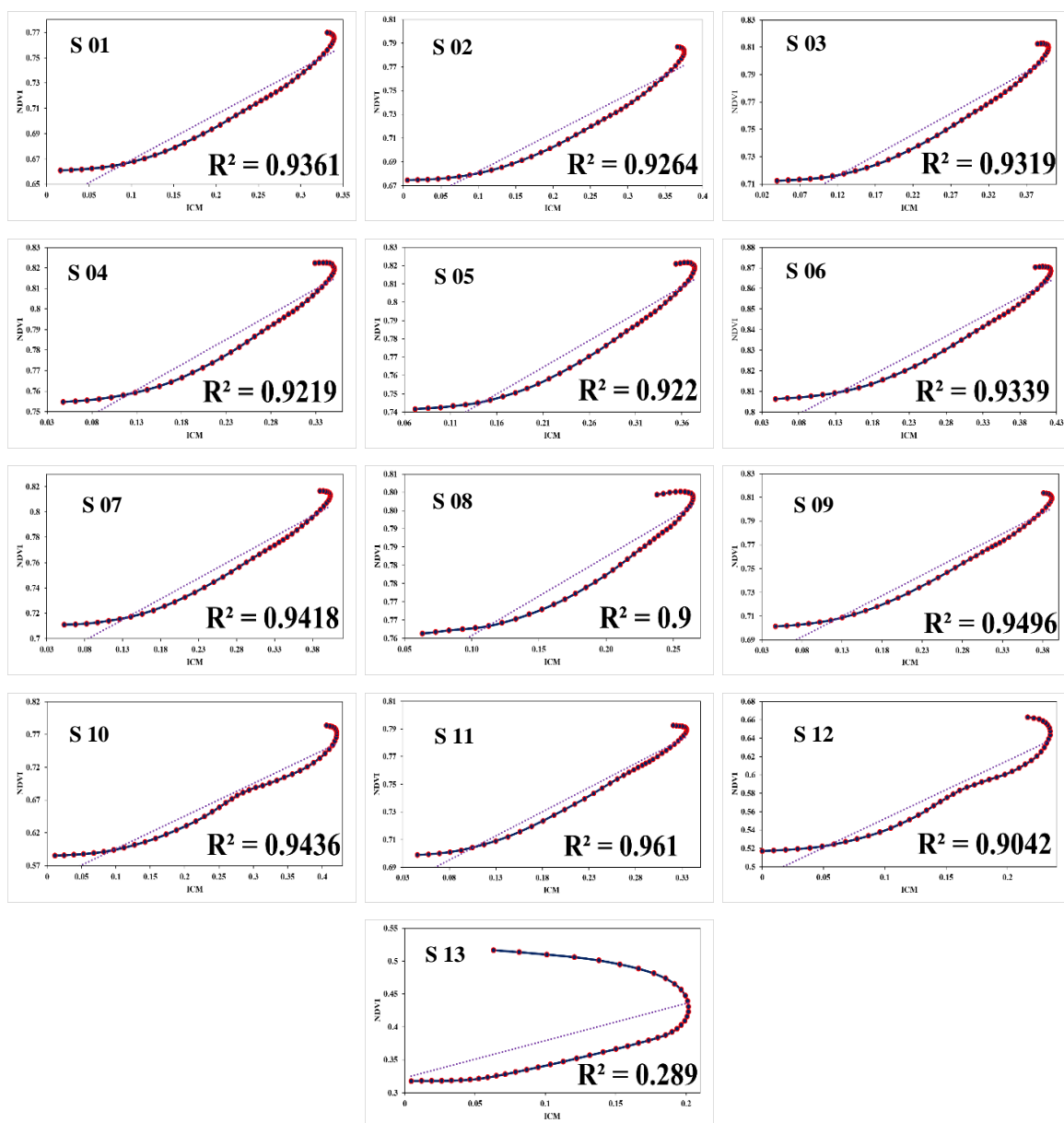
**Figura 4.4.3** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-1-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.4 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela I-1-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en las semanas 02, 03, 05 a la 13, siendo las semanas 01, 04 y 12 del ICM las que muestran valores anómalos.



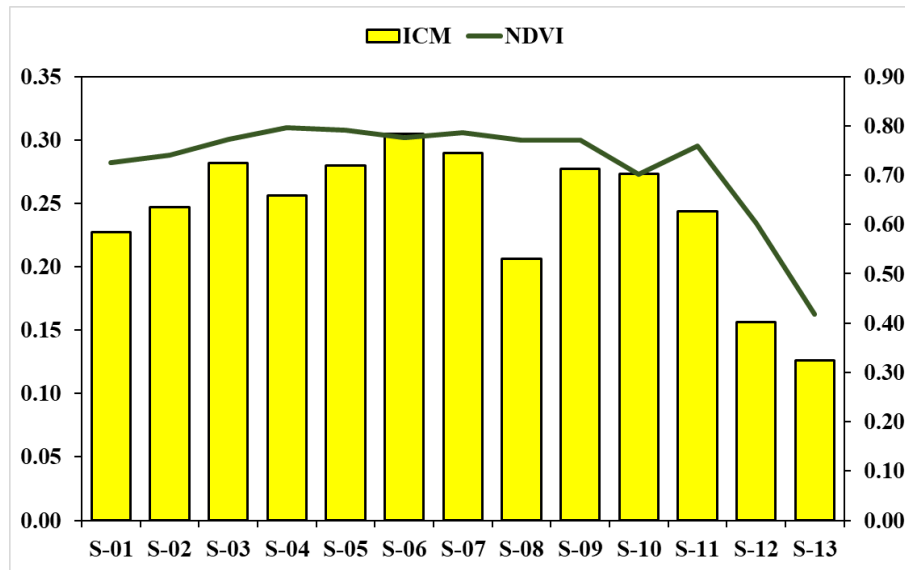
**Figura 4.4.4** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-1-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela I-2-CR: En la figura 4.4.5 se observa que en la semana 09 se tiene una máxima correlación de 0.9496 y una baja correlación en la semana 13 de 0.2890.



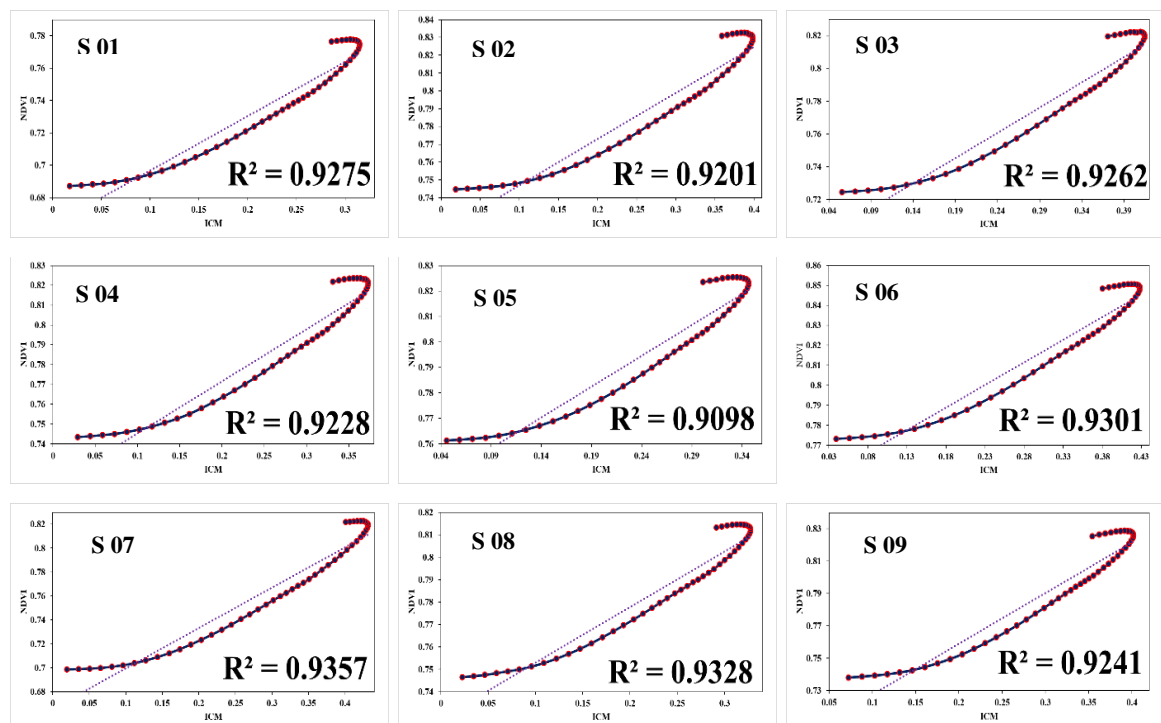
**Figura 4.4.5** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-2-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

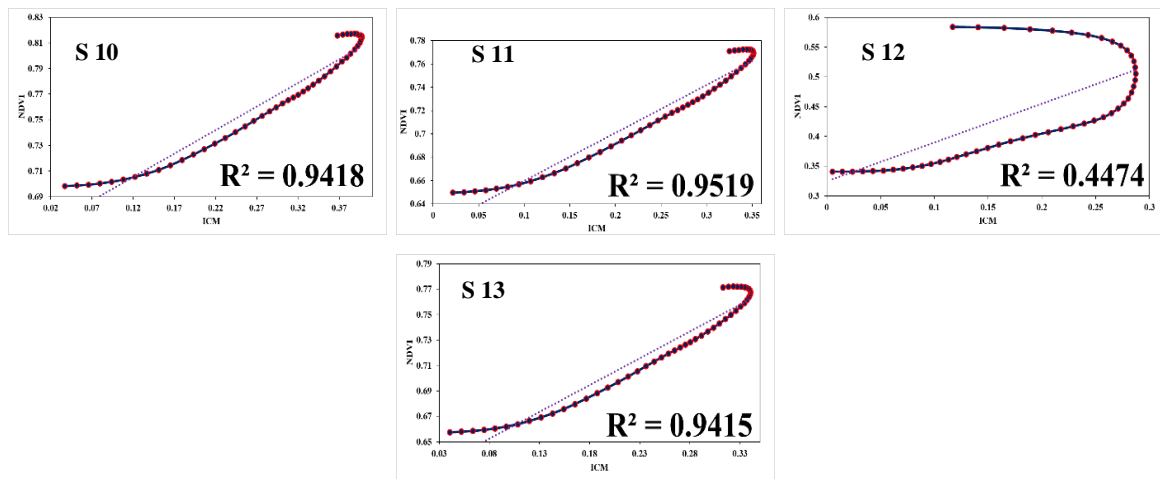
La figura 4.4.6 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela I-2-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04, 08 y 11 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.6** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-2-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

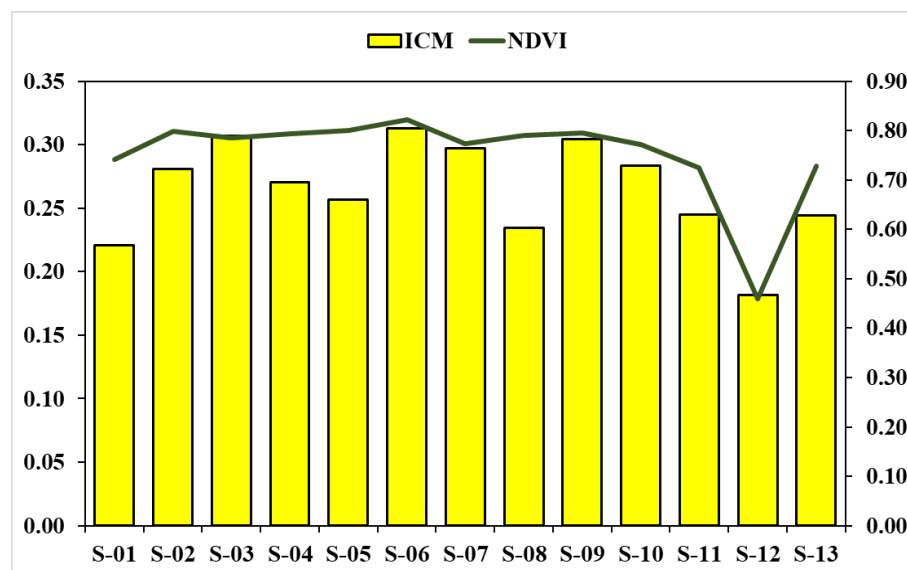
➤ Parcela I-2-SR: En la figura 4.4.7 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9519 y una baja correlación en la semana 12 de 0.4474.





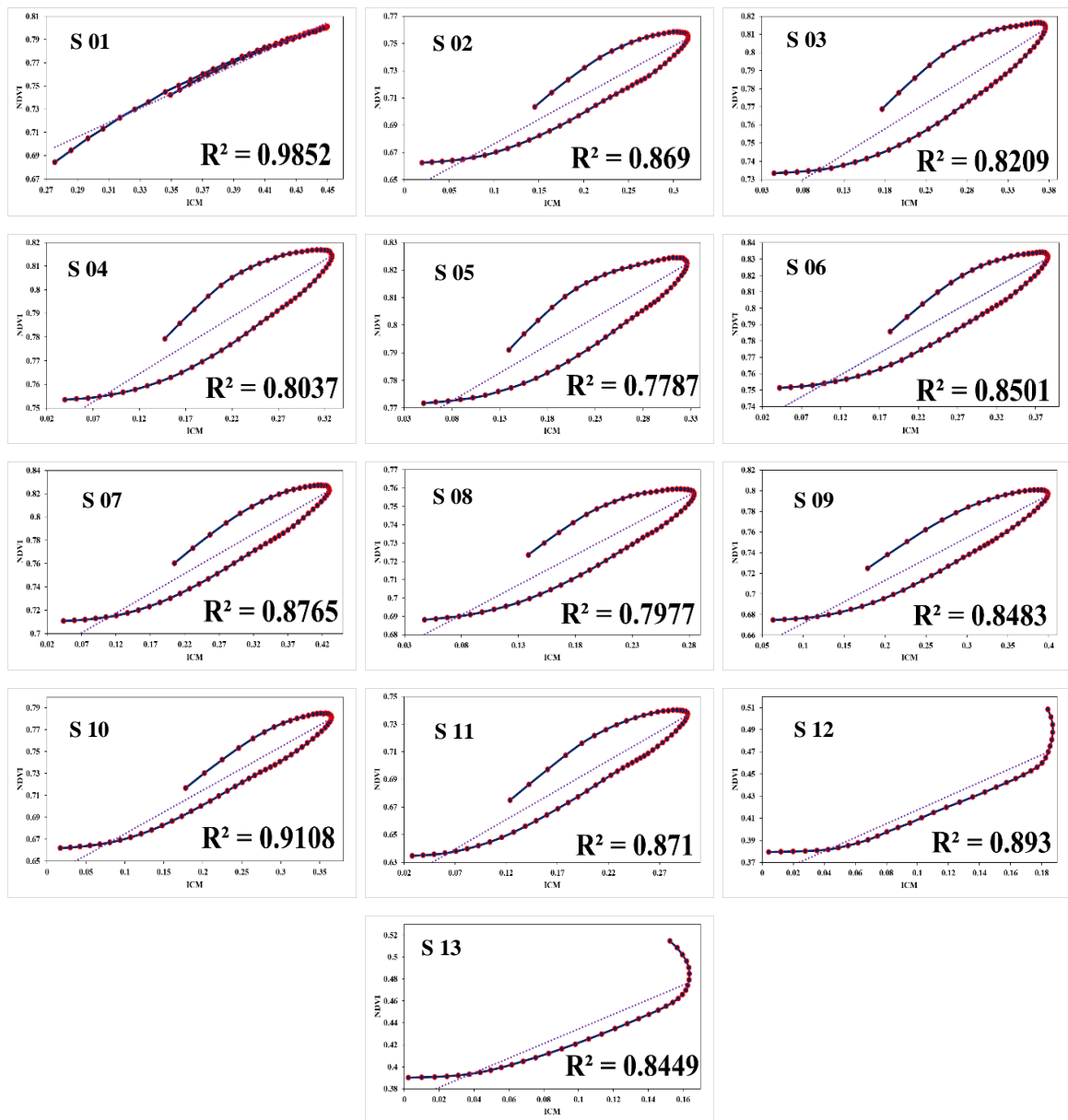
**Figura 4.4.7** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-2-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.8 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela I-2-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04 ,05 y 08 del ICM las que muestran valores anómalos.



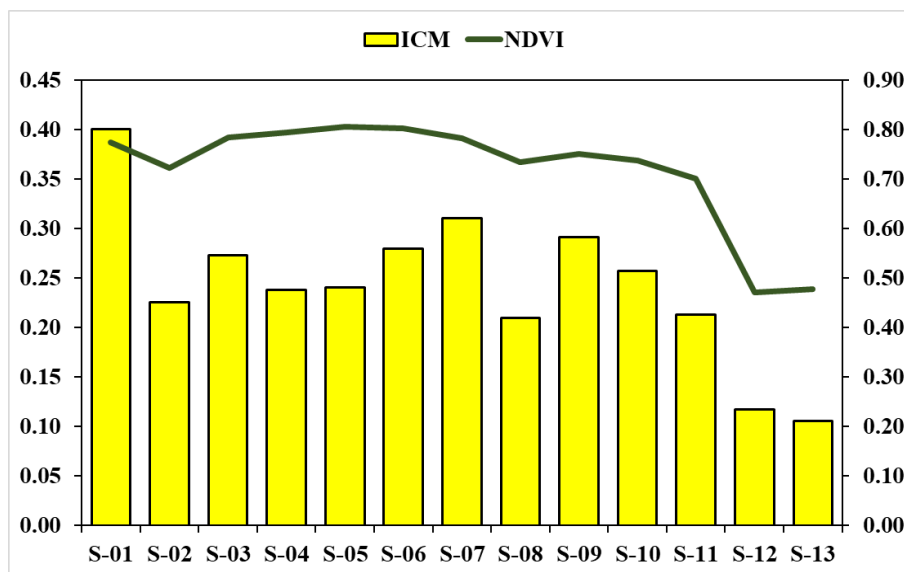
**Figura 4.4.8** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-2-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela I-3-CR: En la figura 4.4.9 se observa que en la semana 01 se tiene una máxima correlación con un valor de 0.9852 y una baja correlación en la semana 05 de 0.7787.



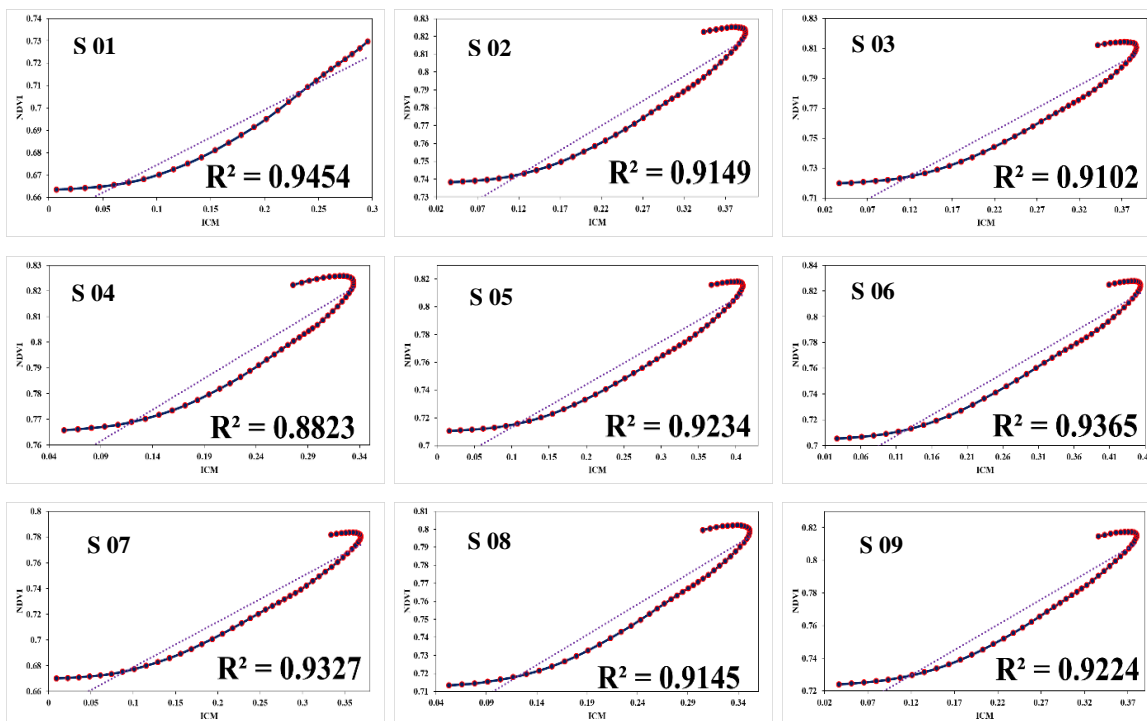
**Figura 4.4.9** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-3-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

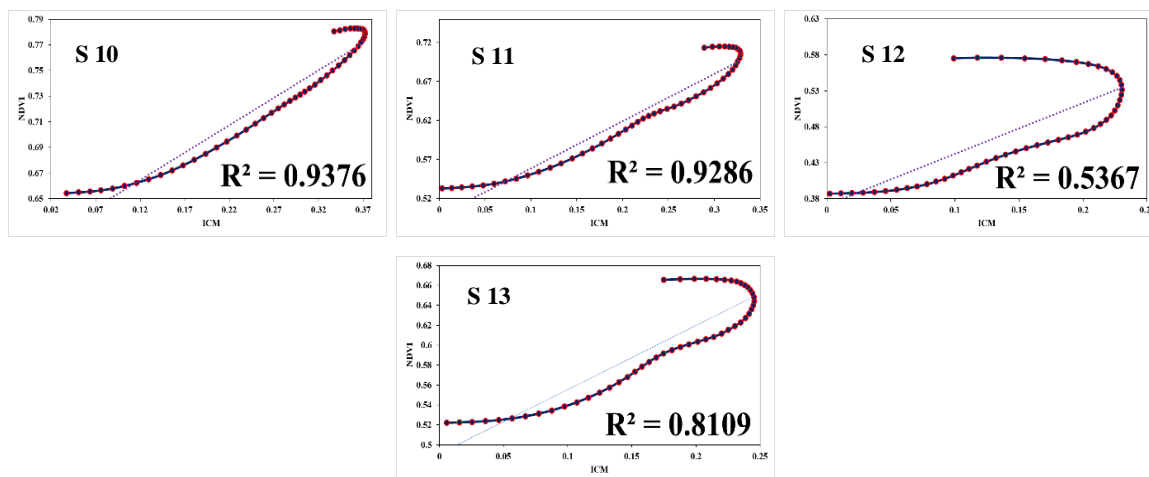
La figura 4.4.10 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela I-3-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04 ,05 y 06 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.10** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-3-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

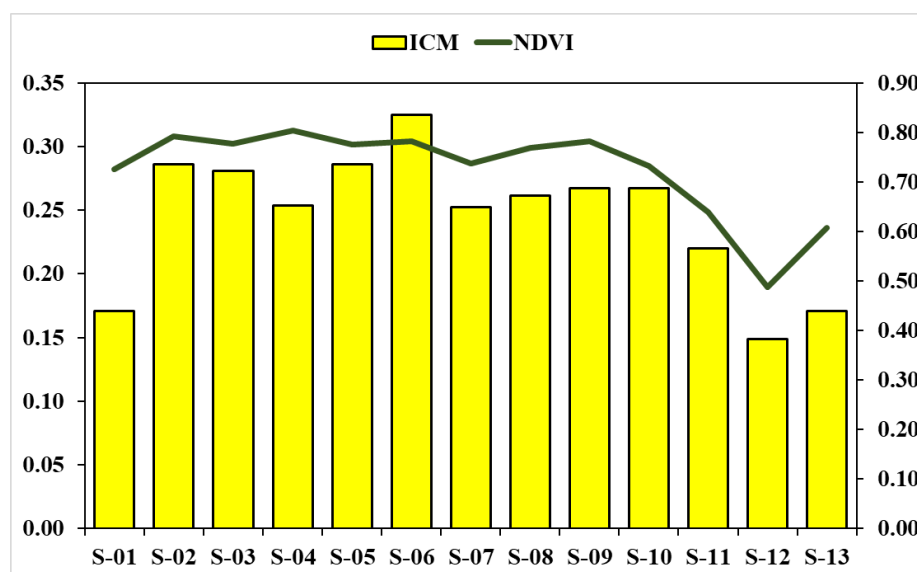
➤ Parcela I-3-SR: En la figura 4.4.11 se observa que en la semana 01 se tiene una máxima correlación de 0.9454 y una baja correlación en la semana 13 de 0.8109.





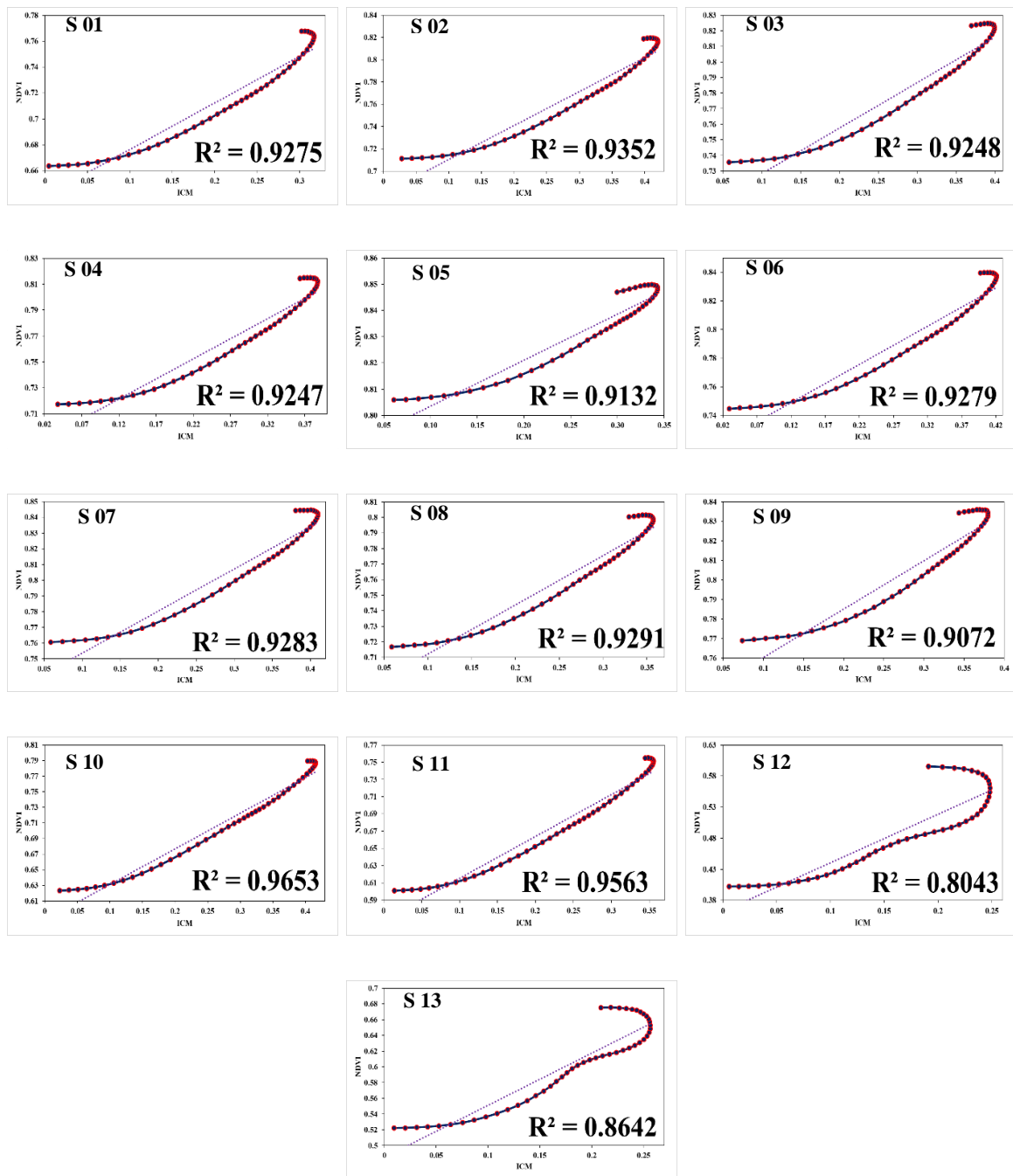
**Figura 4.4.11** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-3-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.12 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela I-3-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo la semana 04 del ICM la que muestra valores anómalos.



**Figura 4.4.12** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-3-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

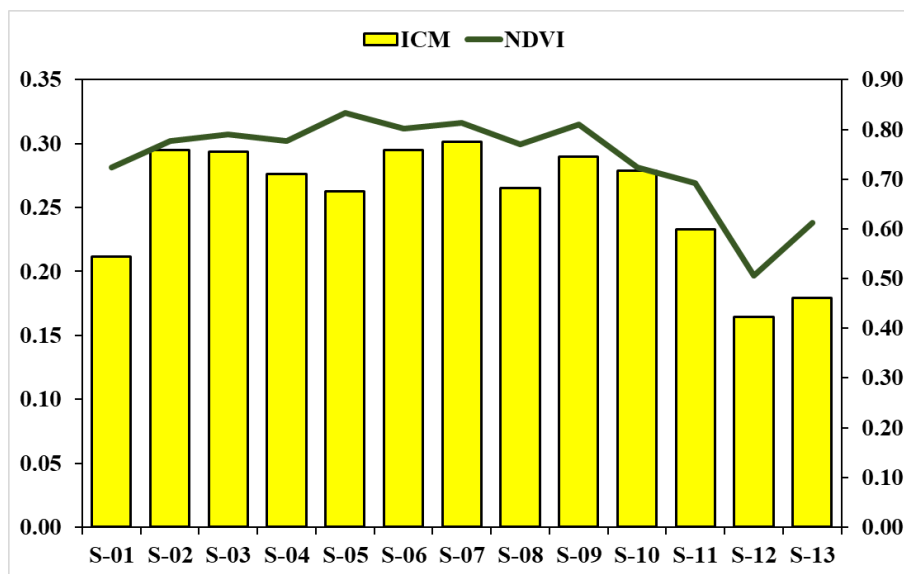
- Parcela I-4-CR: En la figura 4.4.13 se observa que en la semana 10 se tiene una máxima correlación de 0.9653 y una baja correlación en la semana 12 de 0.8043.



**Figura 4.4.13** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-4-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

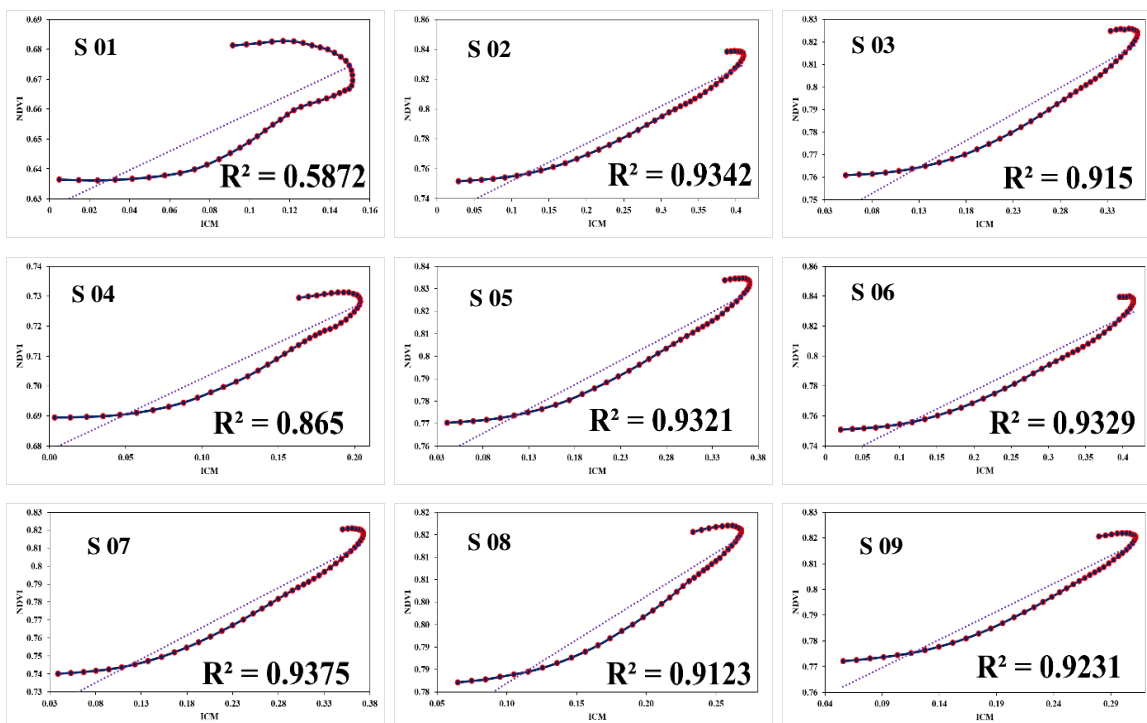
La figura 4.4.14 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela I-4-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo la semana 05 del ICM las que muestran valores anómalos.

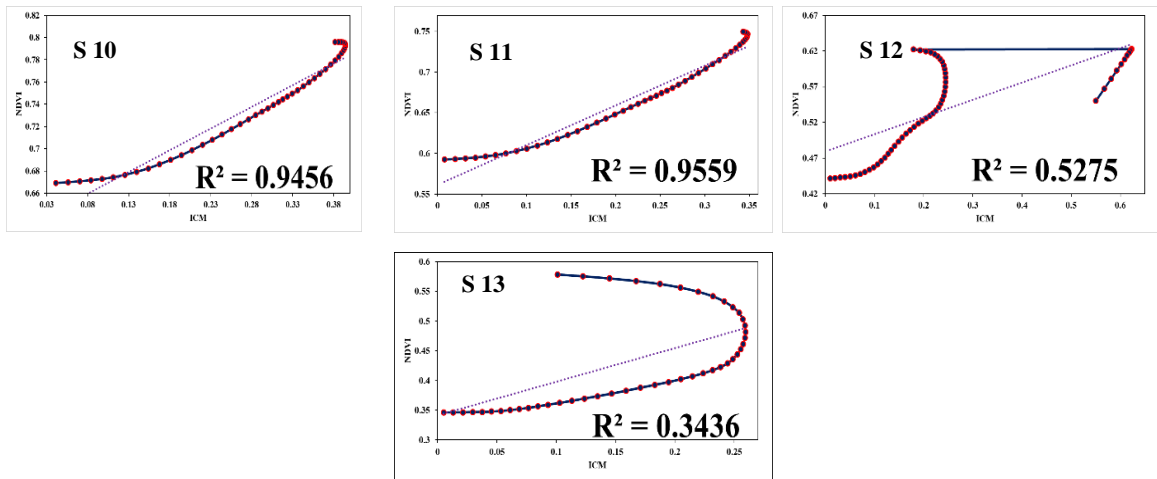




**Figura 4.4.14** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-4-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

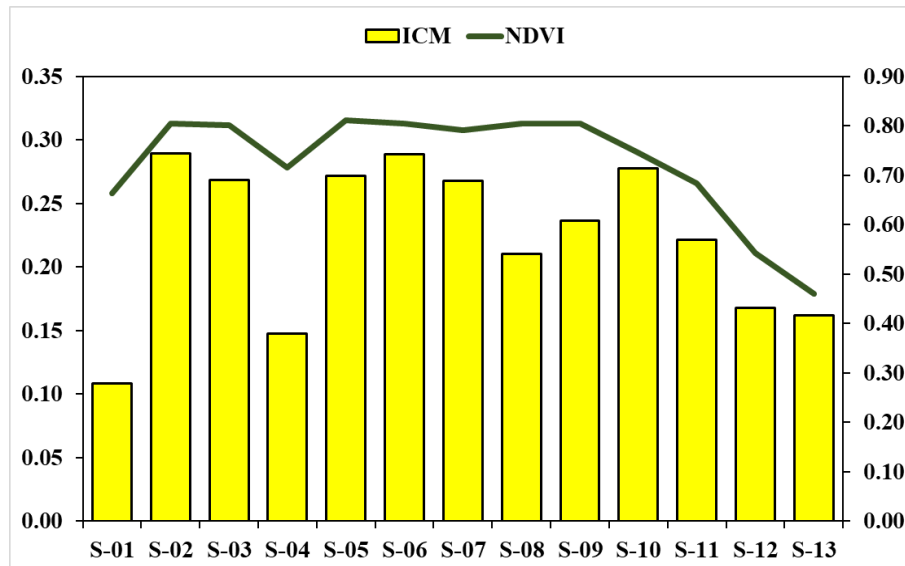
➤ Parcela I-4-SR: En la figura 4.4.15 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9559 y una baja correlación en la semana 13 de 0.3436.





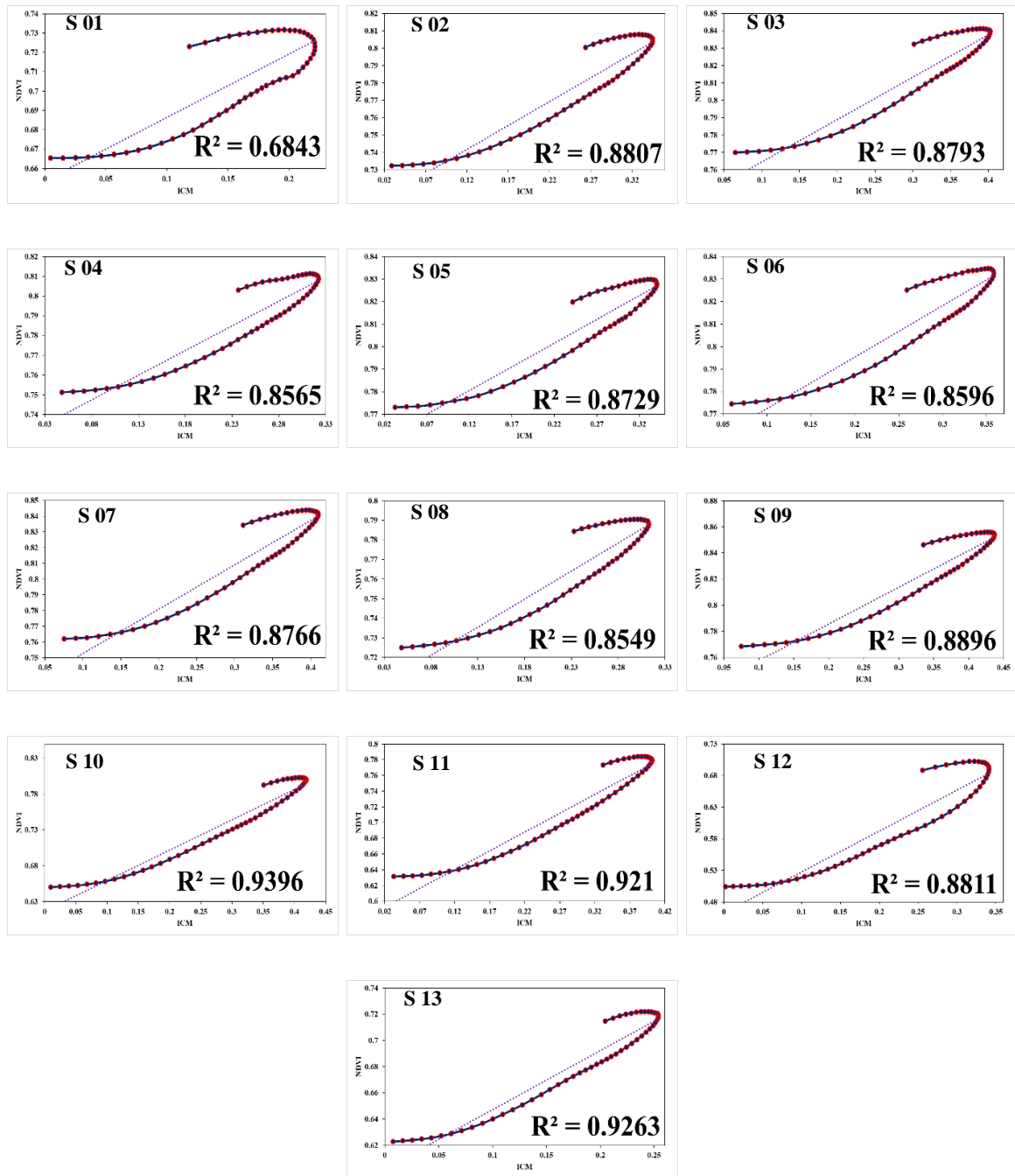
**Figura 4.4.15** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-4-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.16 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela I-4-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 08 y 09 del ICM las que muestran valores anómalos.



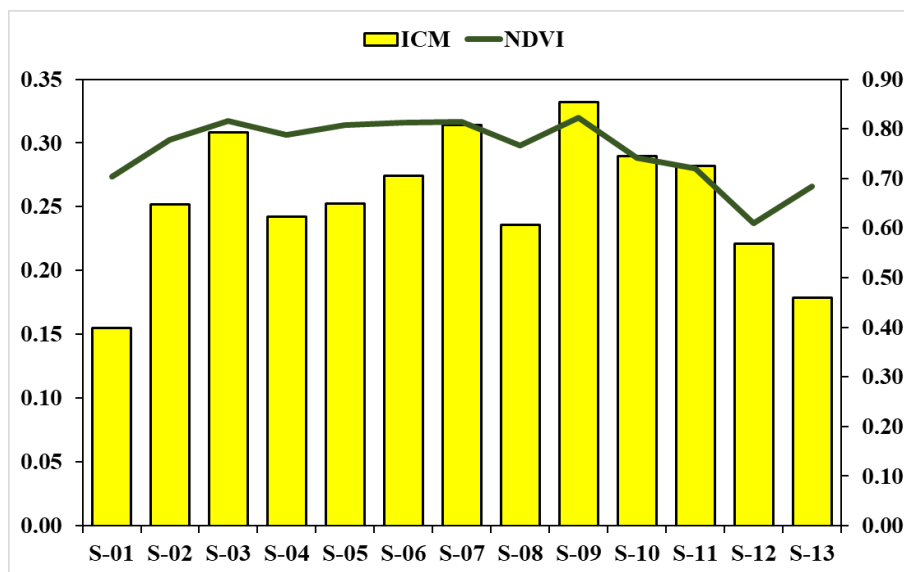
**Figura 4.4.16** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela I-4-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela II-1-CR: En la figura 4.4.17 se observa que en la semana 10 se tiene una máxima correlación de 0.9396 y una baja correlación en la semana 01 de 0.6843.



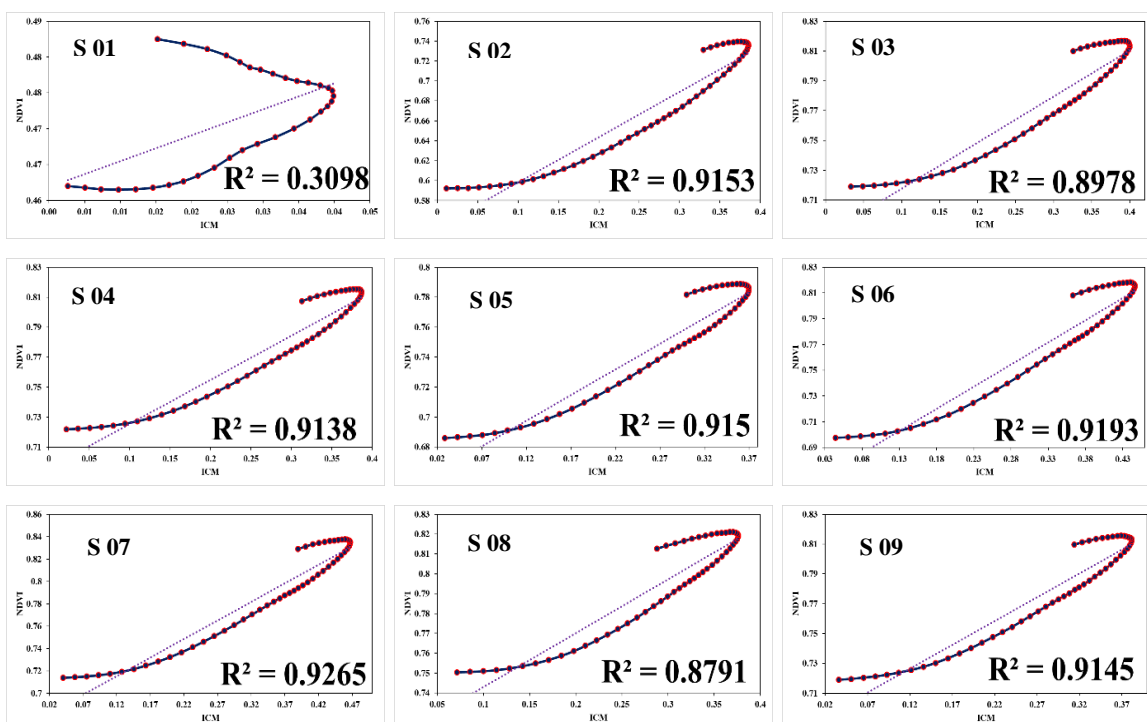
**Figura 4.4.17** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-1-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

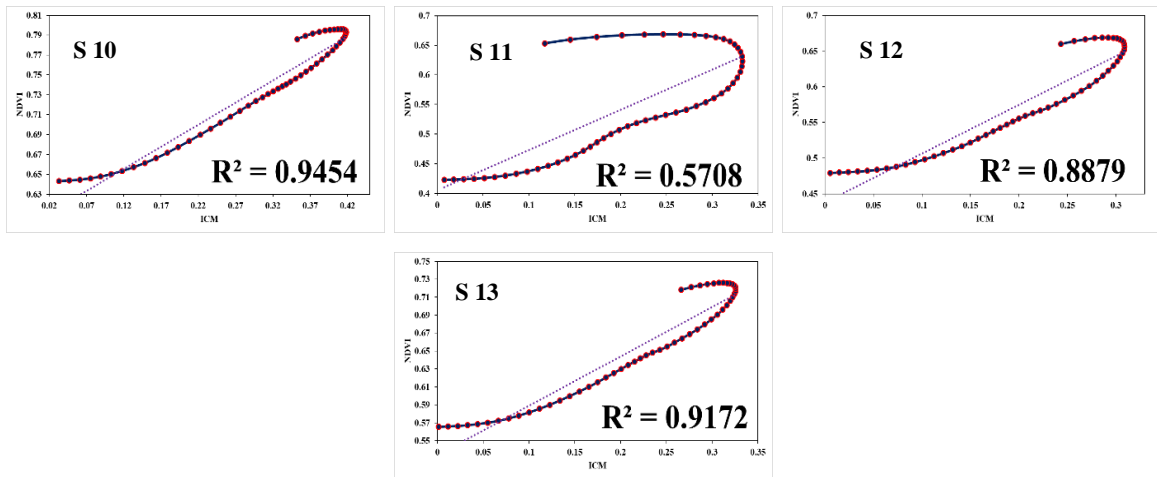
La figura 4.4.18 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela II-1-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo la semana 13 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.18** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-1-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

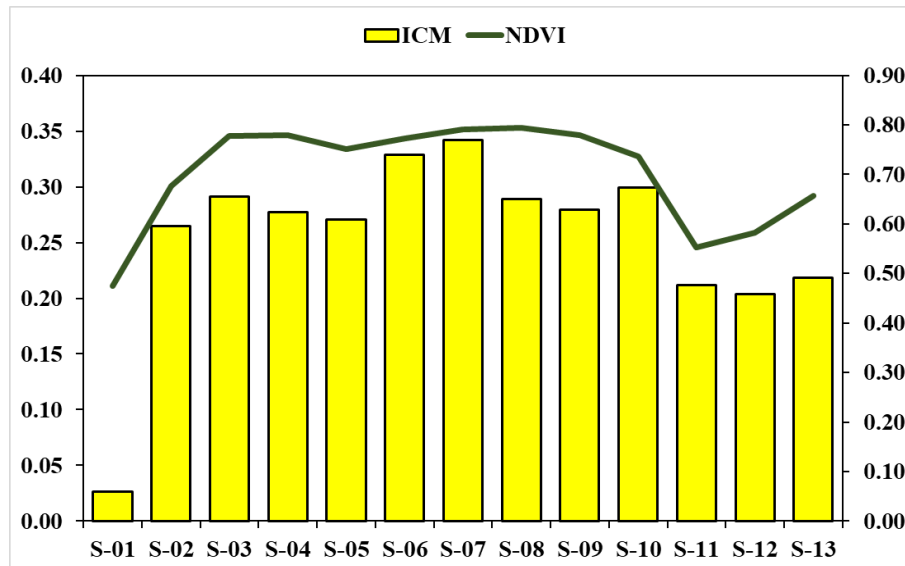
➤ Parcela II-1-SR: En la figura 4.4.19 se observa que en la semana 10 se tiene una máxima correlación de 0.9454 y una baja correlación en la semana 01 de 0.3098.





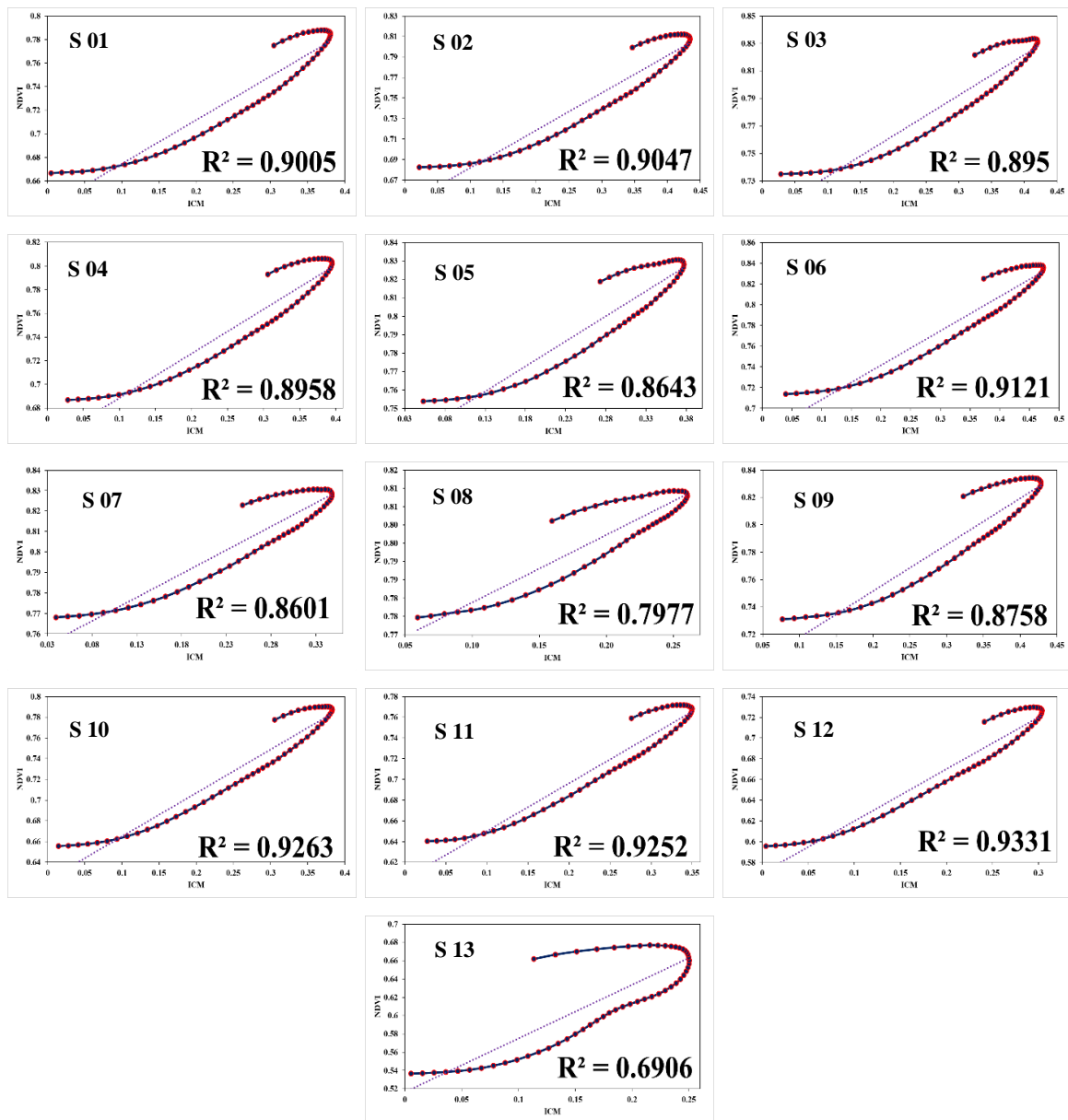
**Figura 4.4.19** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-1-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.20 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela II-1-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04, 08 y 09 del ICM las que muestran valores anómalos.



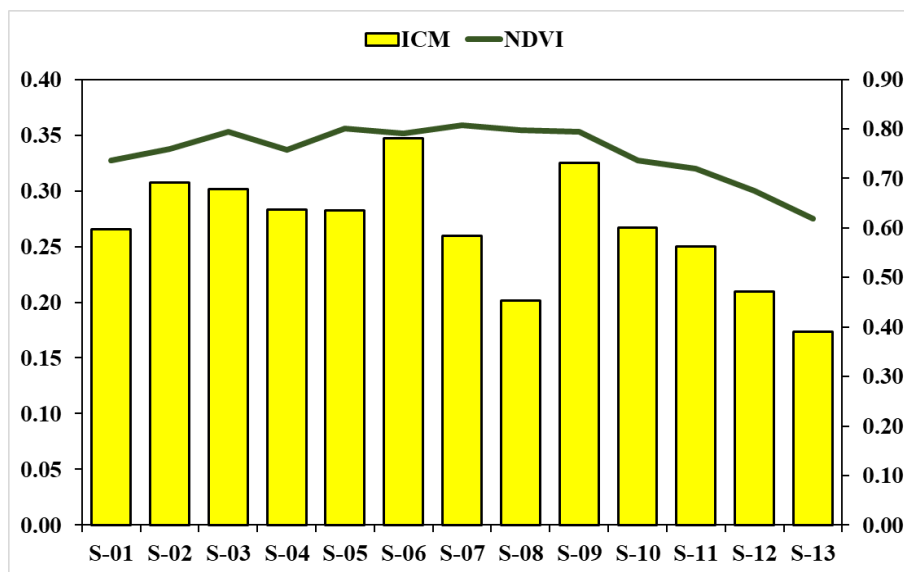
**Figura 4.4.20** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-1-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela II-2-CR: En la figura 4.4.21 se observa que en la semana 10 se tiene una máxima correlación de 0.9263 y una baja correlación en la semana 13 de 0.6906



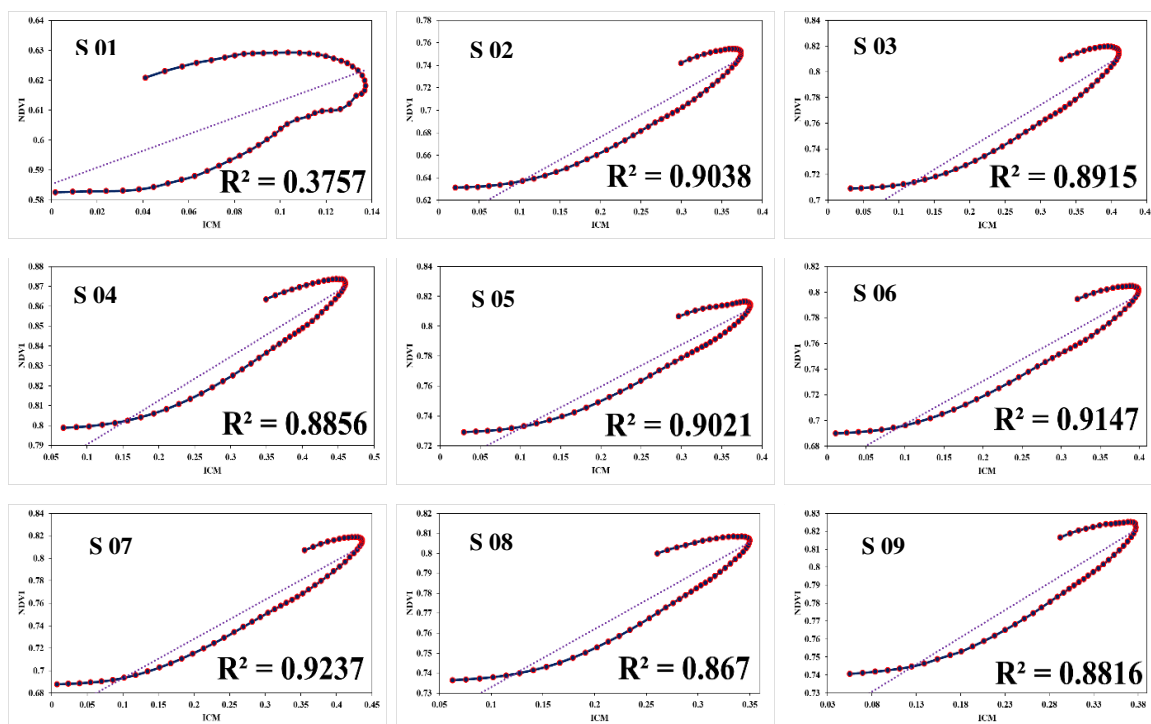
**Figura 4.4.21** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-2-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

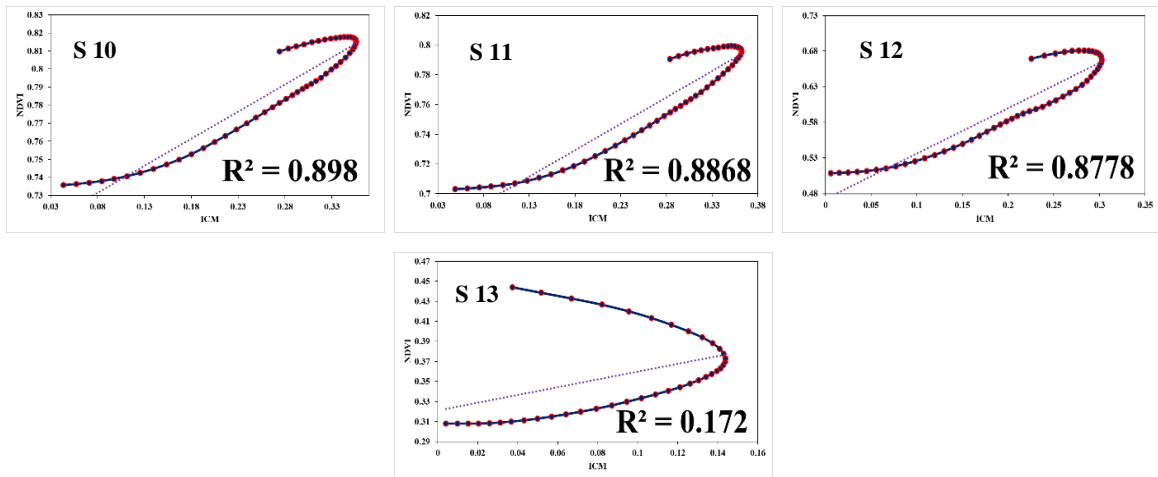
La figura 4.4.22 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela II-2-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 05, 07 y 08 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.22** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-2-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

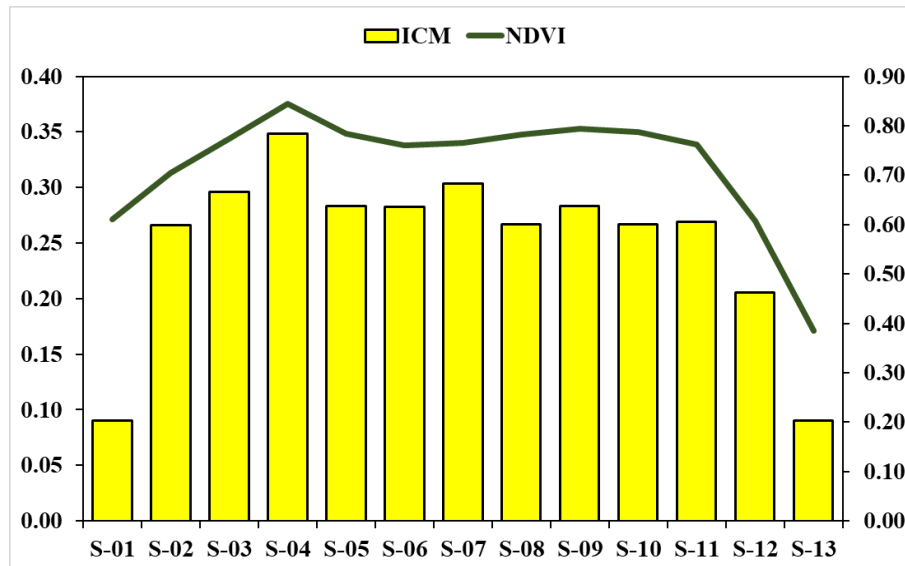
➤ Parcela II-2-SR: En la figura 4.4.23 se observa que en la semana 07 se tiene una máxima correlación de 0.9237 y una baja correlación en la semana 13 de 0.1720.





**Figura 4.4.23** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-2-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

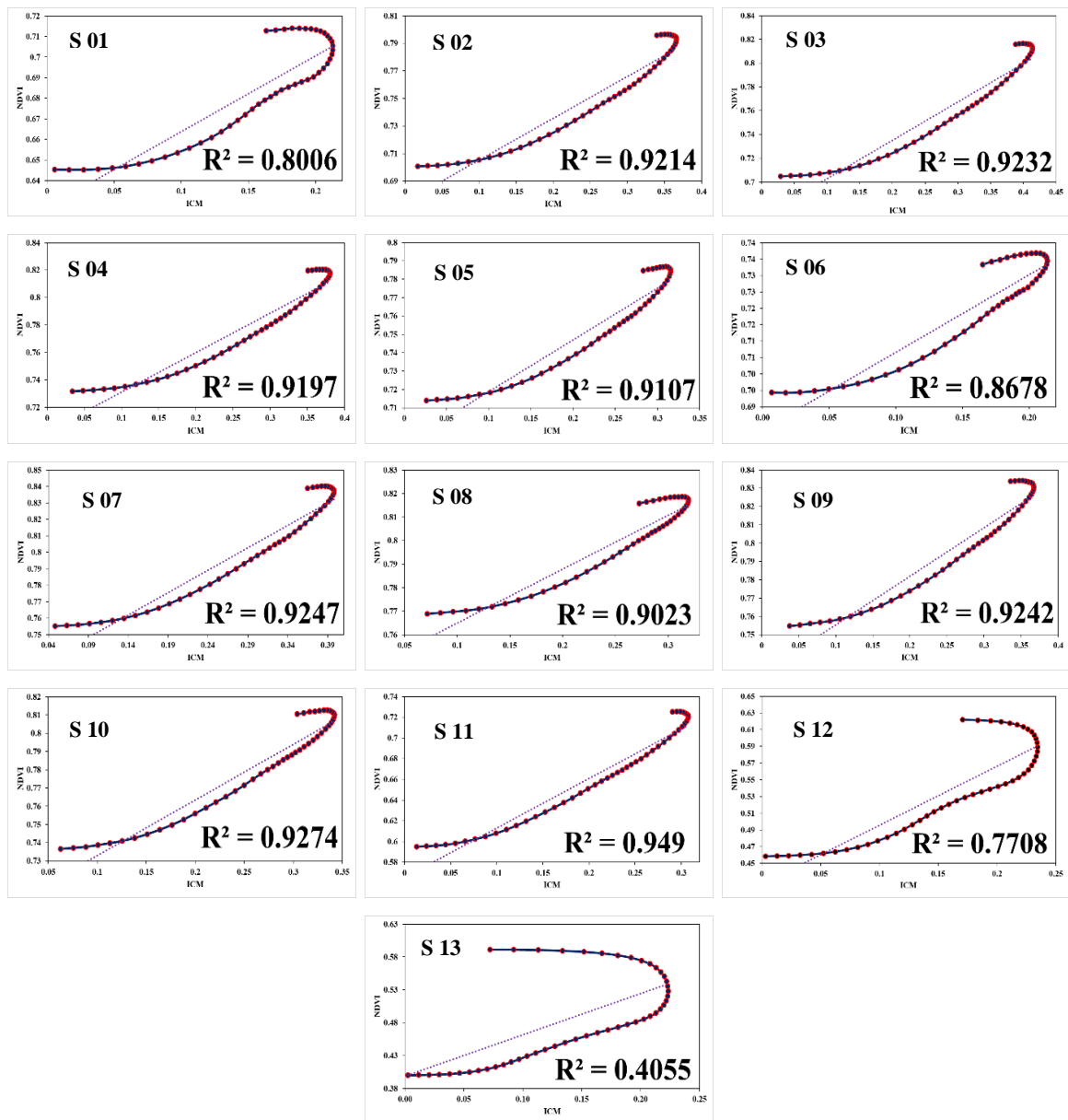
La figura 4.4.24 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela II-2-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 08, 09 10 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.24** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-2-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

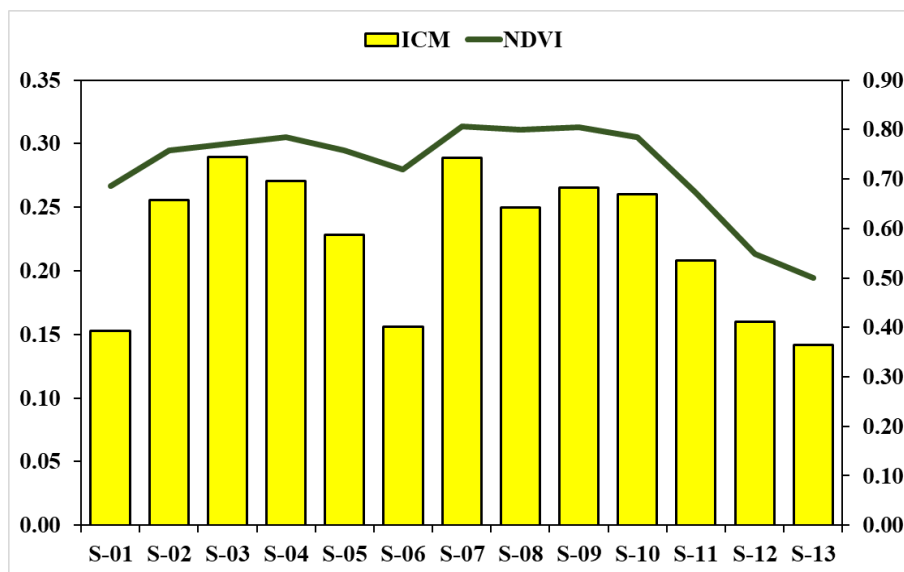
- Parcela II-3-CR: En la figura 4.4.25 se observa que en la semana 10 se tiene una máxima correlación de 0.9274 y una baja correlación en la semana 13 de 0.4055.





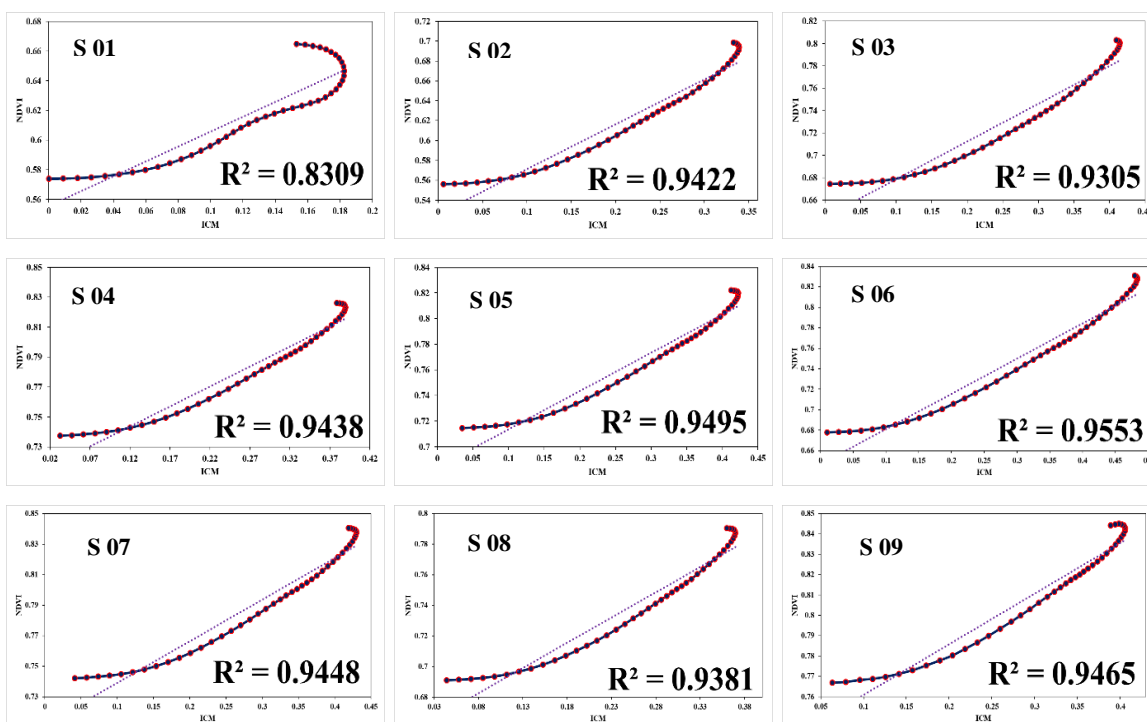
**Figura 4.4.25** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-3-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

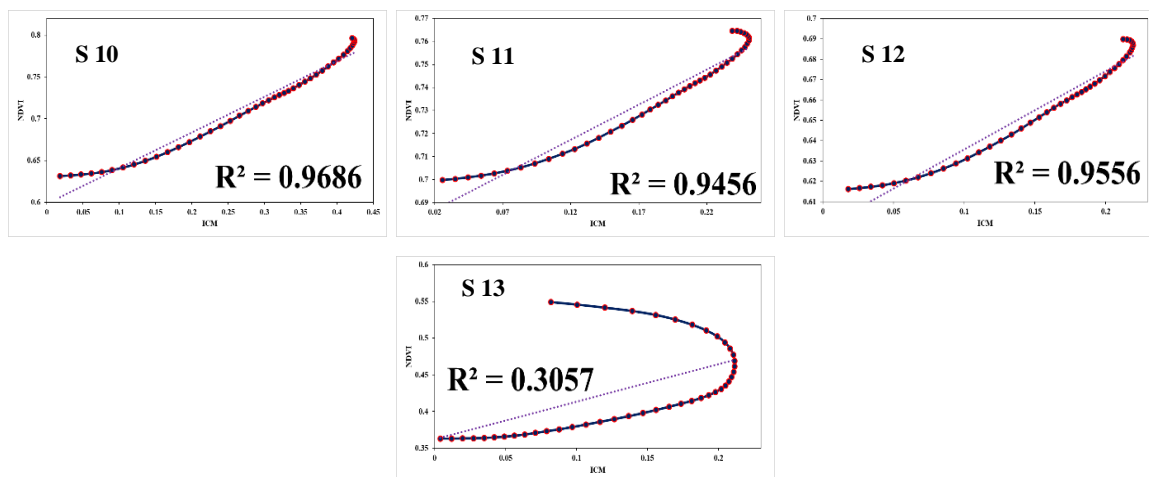
La figura 4.4.26 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela II-3-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo la semana 04 del ICM la que muestra valor anómalo.



**Figura 4.4.26** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-3-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

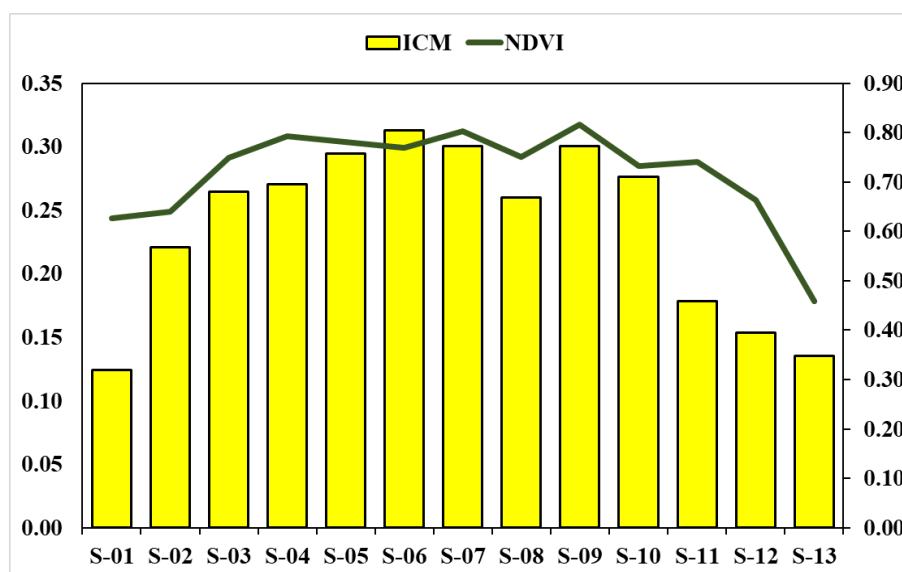
➤ Parcela II-3-SR: En la figura 4.4.27 se observa que en la semana 10 se tiene una máxima correlación de 0.9686 y una baja correlación en la semana 13 de 0.3057.





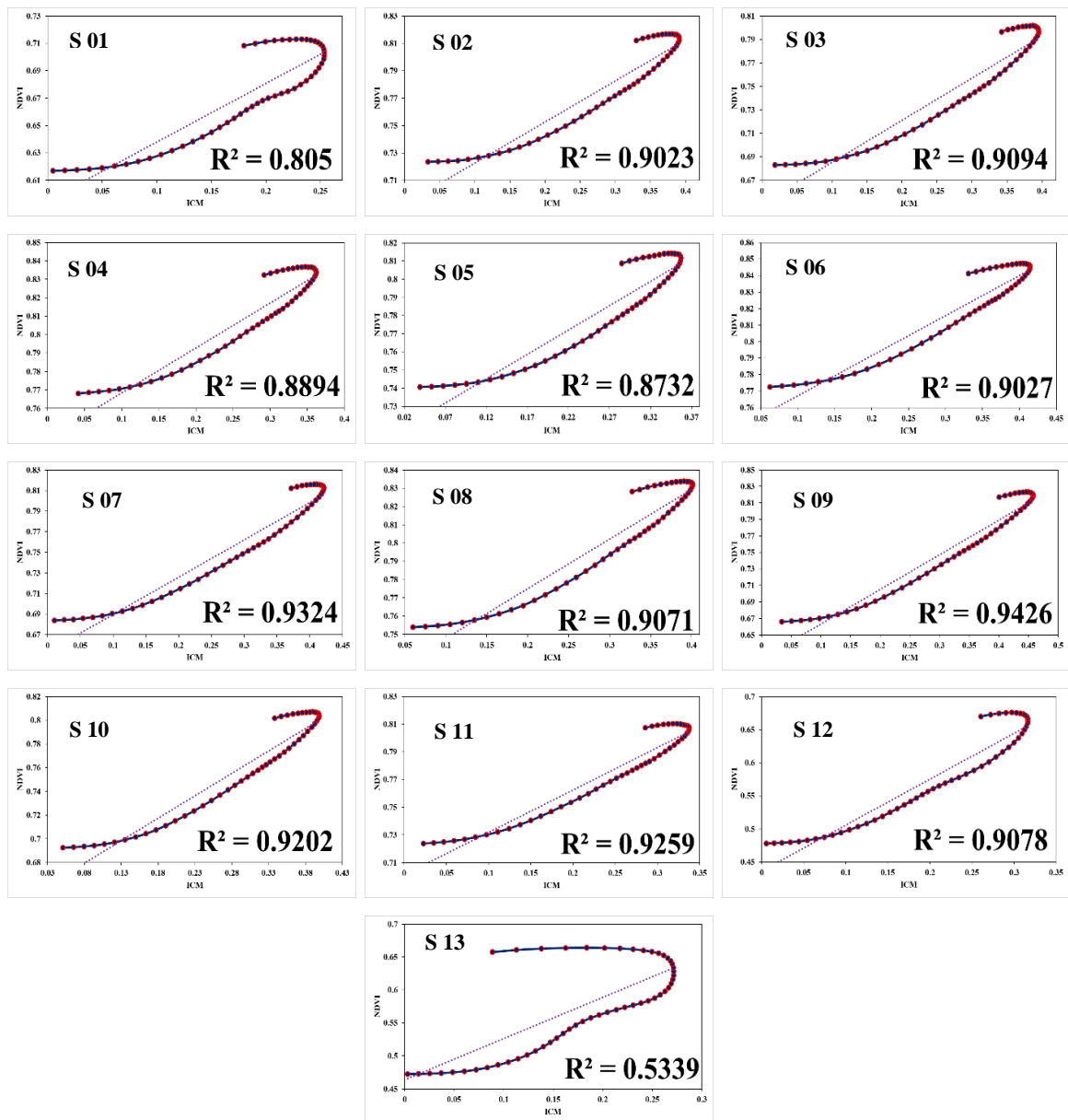
**Figura 4.4.27** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-3-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.28 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela II-3-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04, 07 y 11 las que muestran valores anómalos.



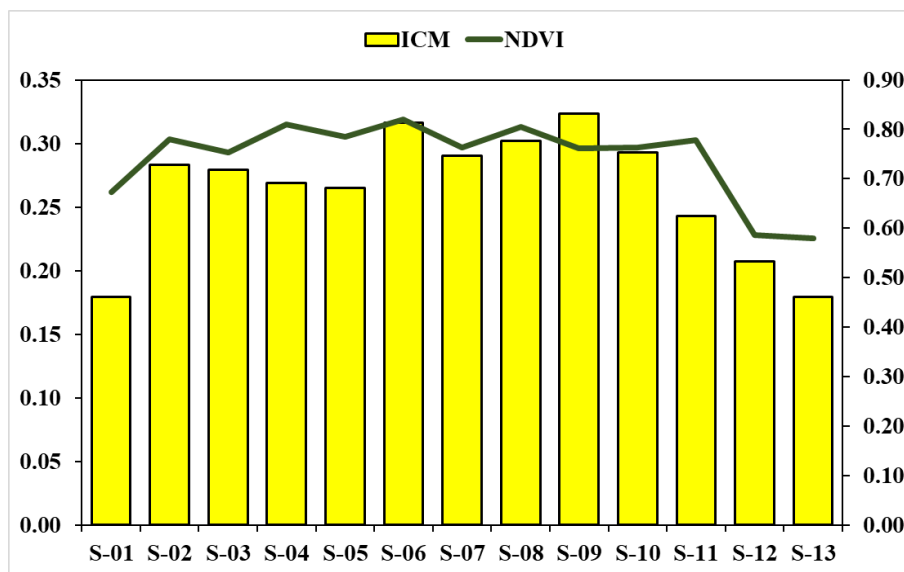
**Figura 4.4.28** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-3-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela II-4-CR: En la figura 4.4.29 se observa que en la semana 09 se tiene una máxima correlación de 0.9426 y una baja correlación en la semana 13 de 0.5339.



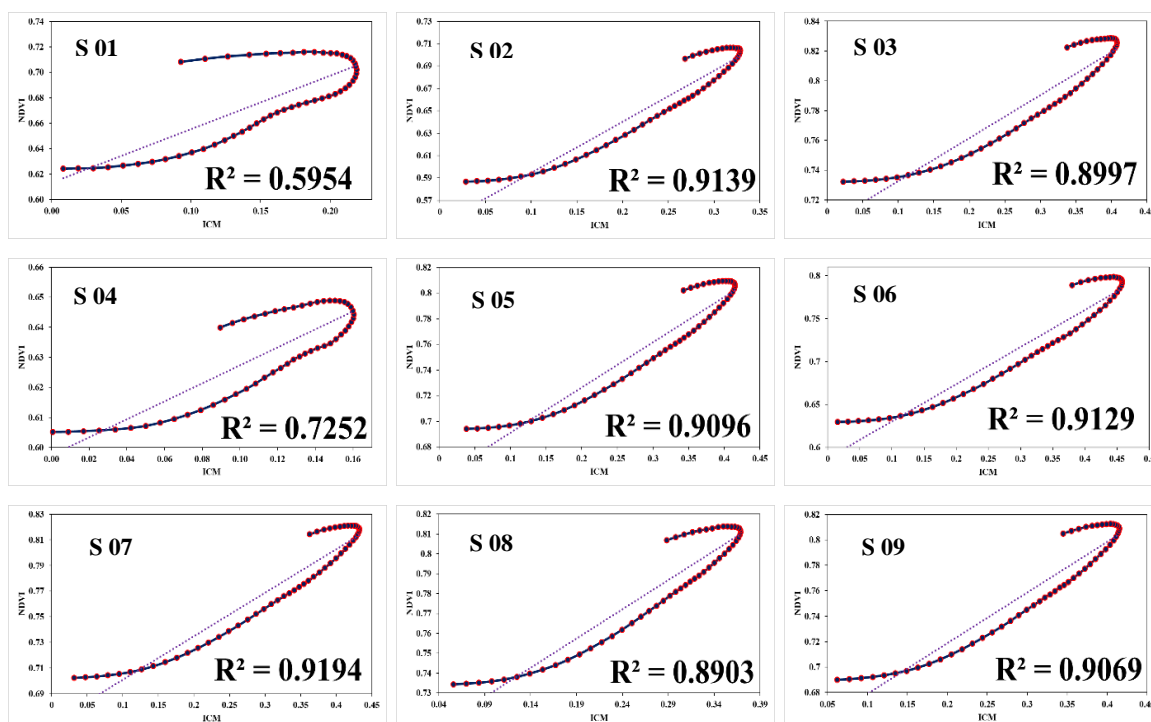
**Figura 4.4.29** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-4-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

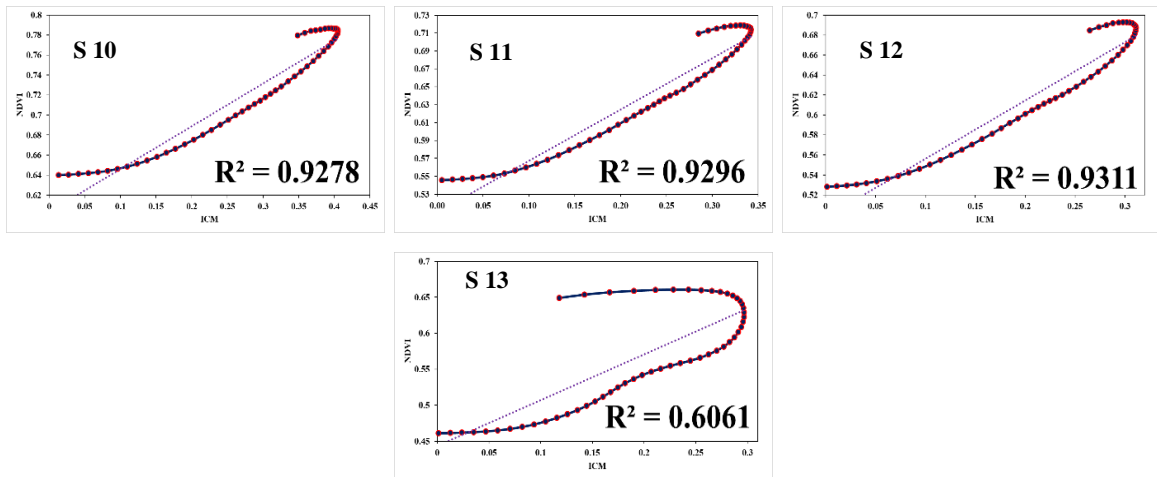
La figura 4.4.30 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela II-4-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04, 09 y 11 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.30** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-4-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

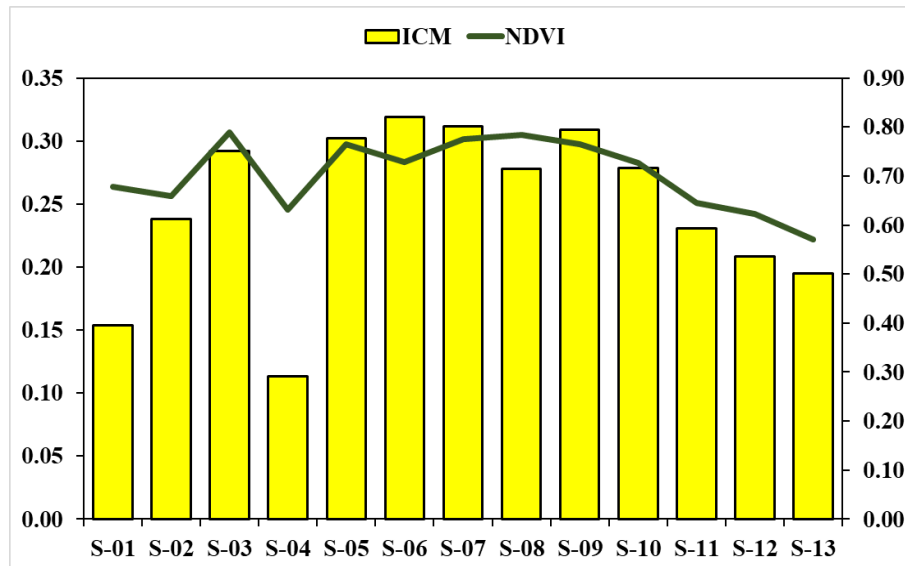
➤ Parcela II-4-SR: En la figura 4.4.31 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9296 y una baja correlación en la semana 01 de 0.5954.





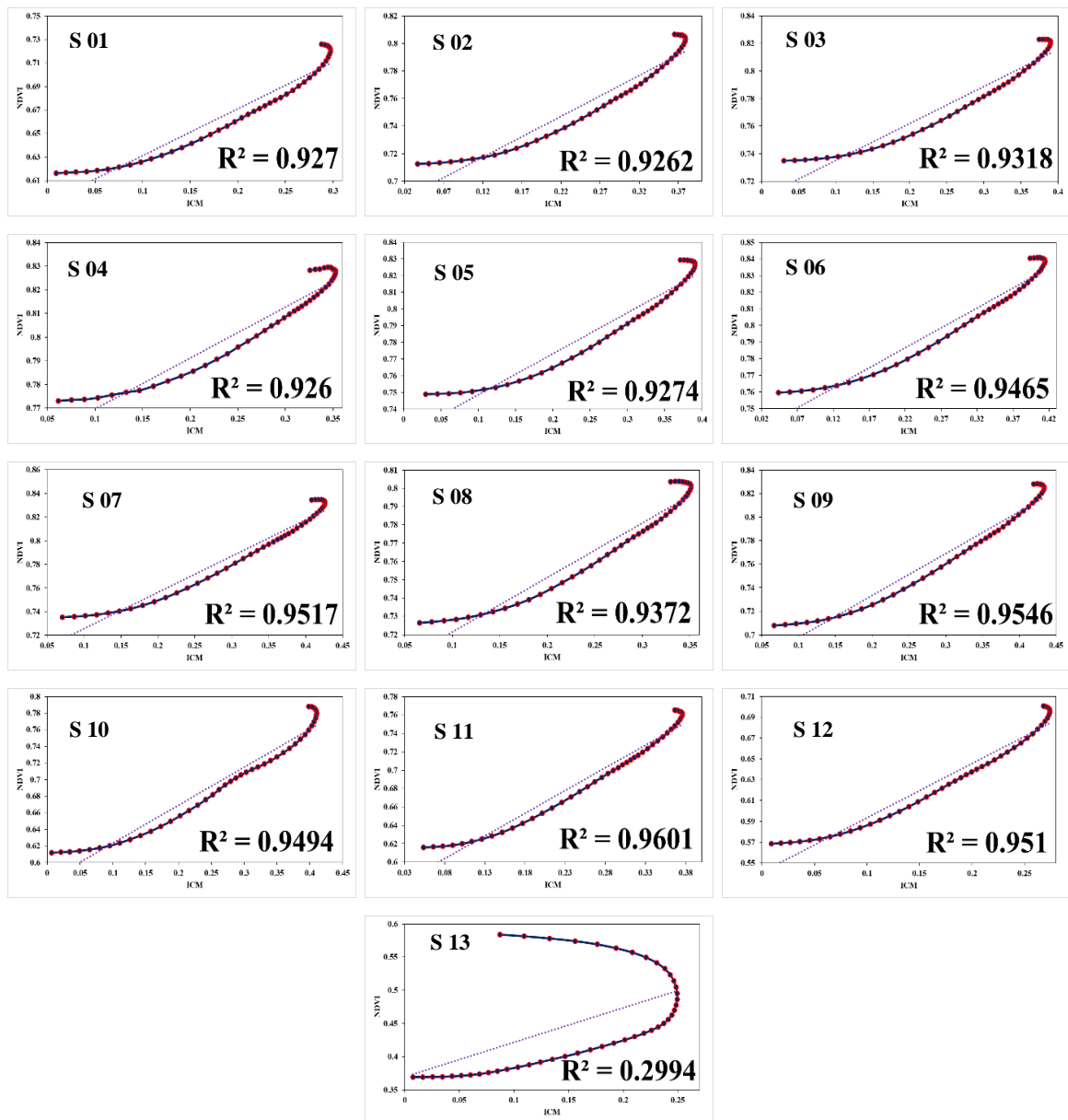
**Figura 4.4.31** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-4-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.32 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela II-4-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 01, 06 y 08 del ICM las que muestran valores anómalos.



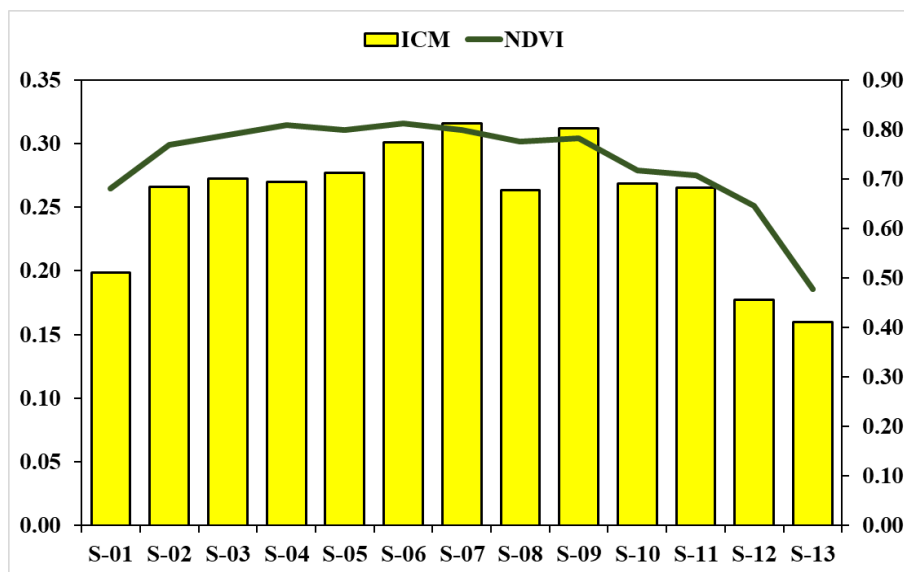
**Figura 4.4.32** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela II-4-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela III-1-CR: En la figura 4.4.33 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9601 y una baja correlación en la semana 13 de 0.2994.



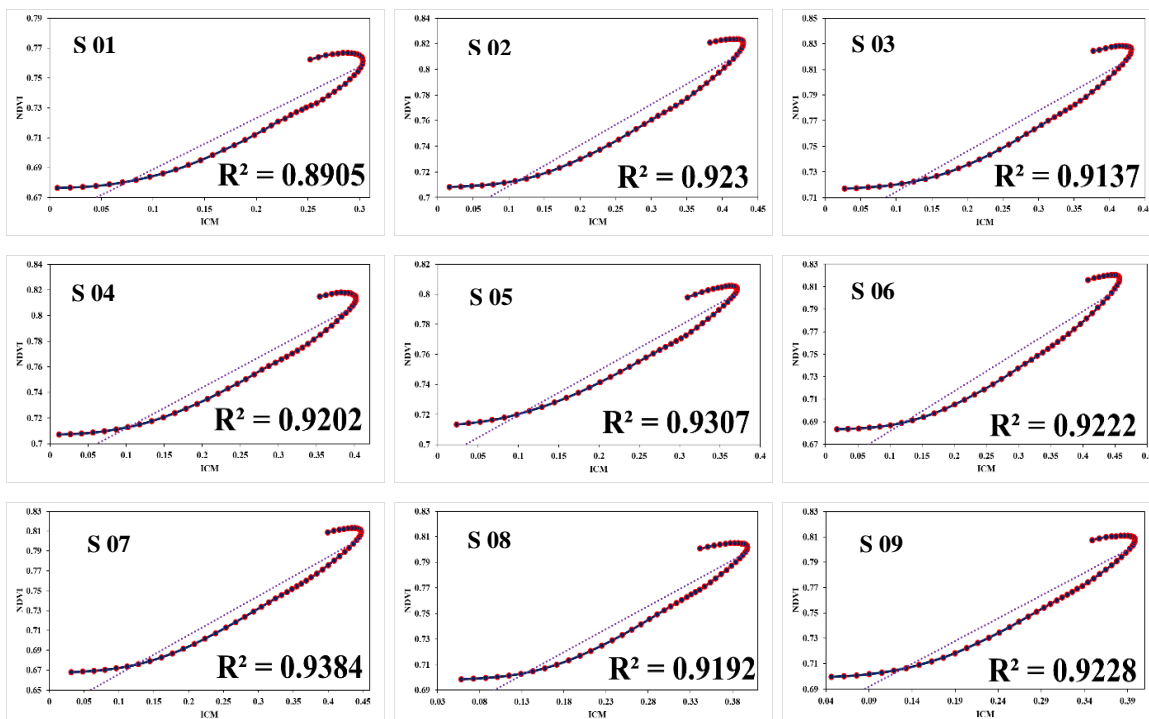
**Figura 4.4.33** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-1-CR durante las 13 semanas de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.34 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela III-1-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo la semana 04 del ICM la que muestra anomalía.

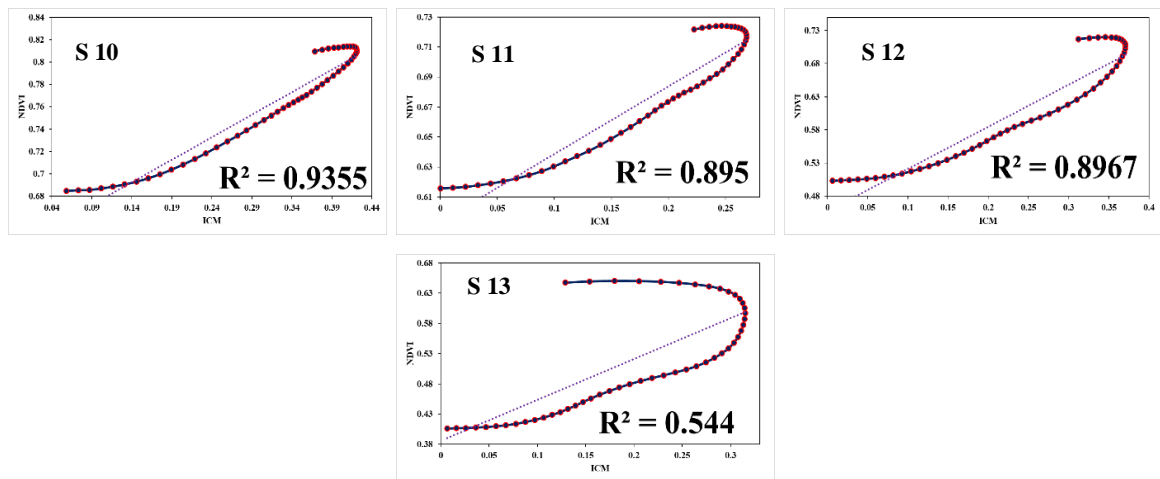


**Figura 4.4.34** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-1-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela III-1-SR: En la figura 4.4.35 se observa que en la semana 07 se tiene una máxima correlación de 0.9384 y una baja correlación en la semana 13 de 0.5440.

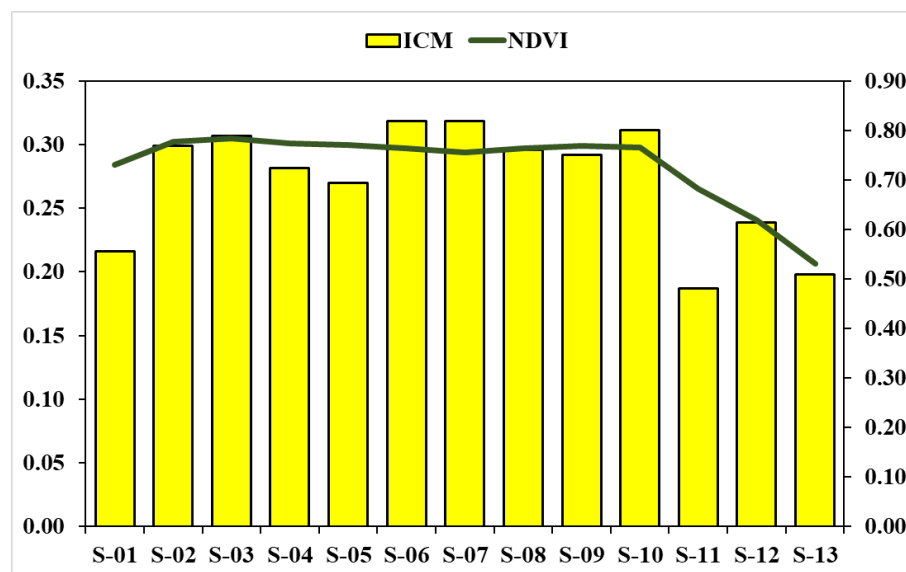






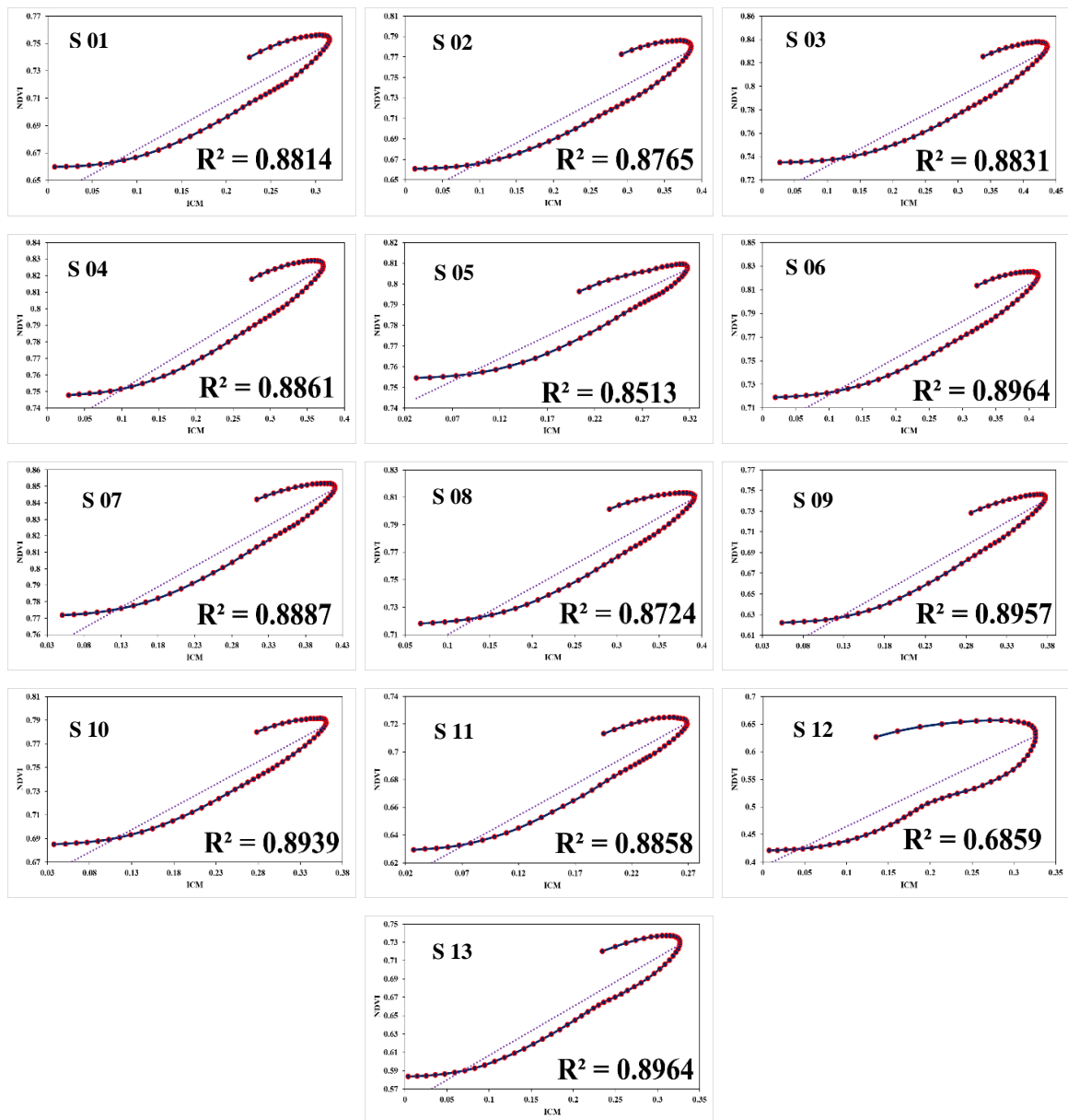
**Figura 4.4.35** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-1-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.36 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela III-1-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 06 y 07 las que muestran valores anómalos.



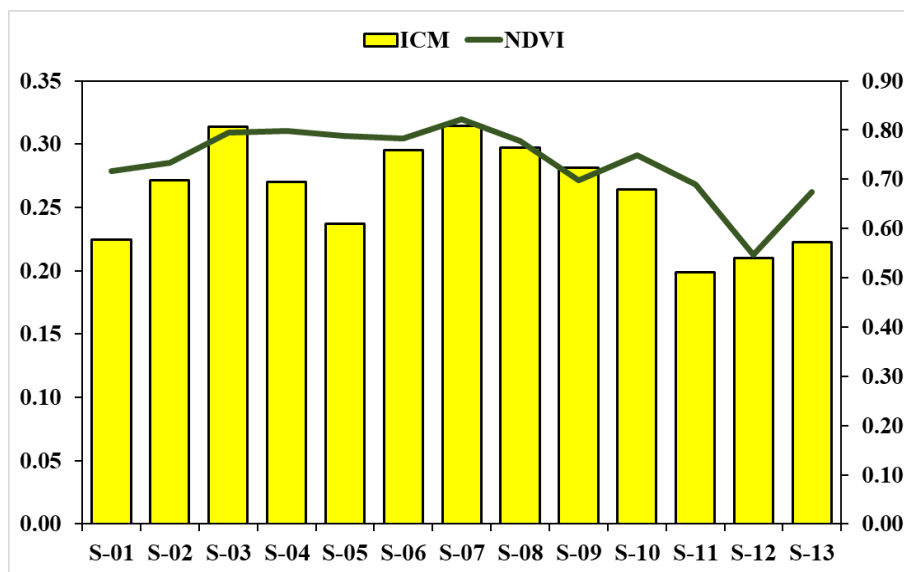
**Figura 4.4.36** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-1-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela III-2-CR: En la figura 4.4.37 se observa que en la semana 06 y 13 se tiene una máxima correlación de 0.8364 y una baja correlación en la semana 12 de 0.6859.



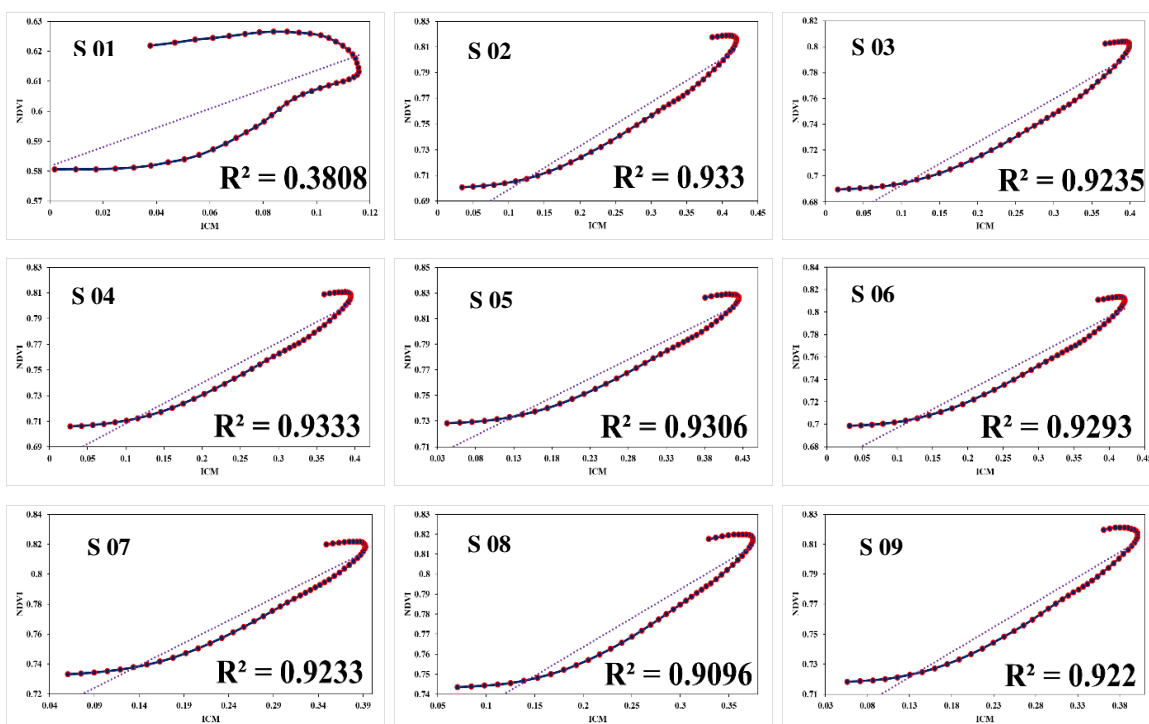
**Figura 4.4.37** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-2-CR durante las 13 semanas de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

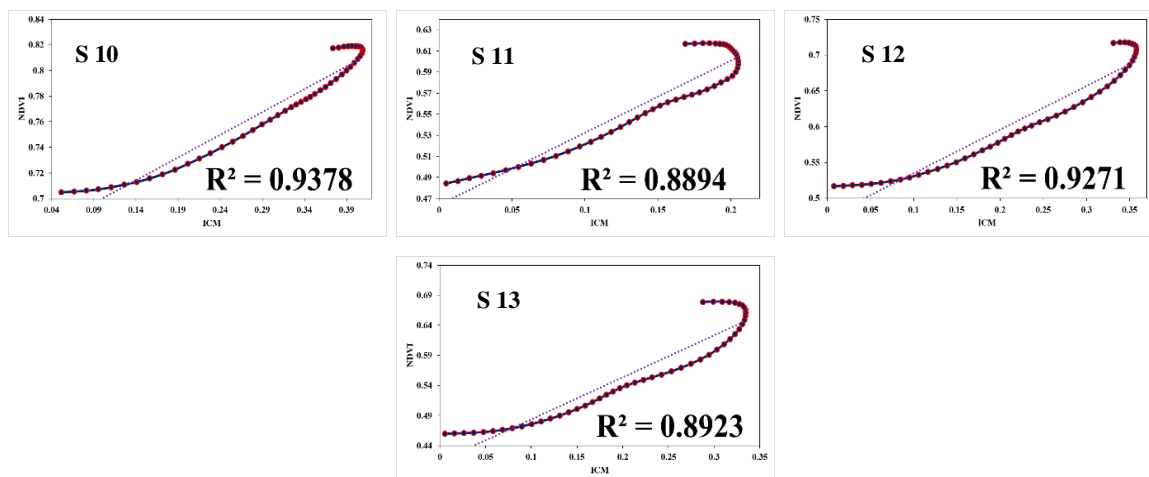
La figura 4.4.38 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela III-2-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04, 05 y 10 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.38** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-2-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

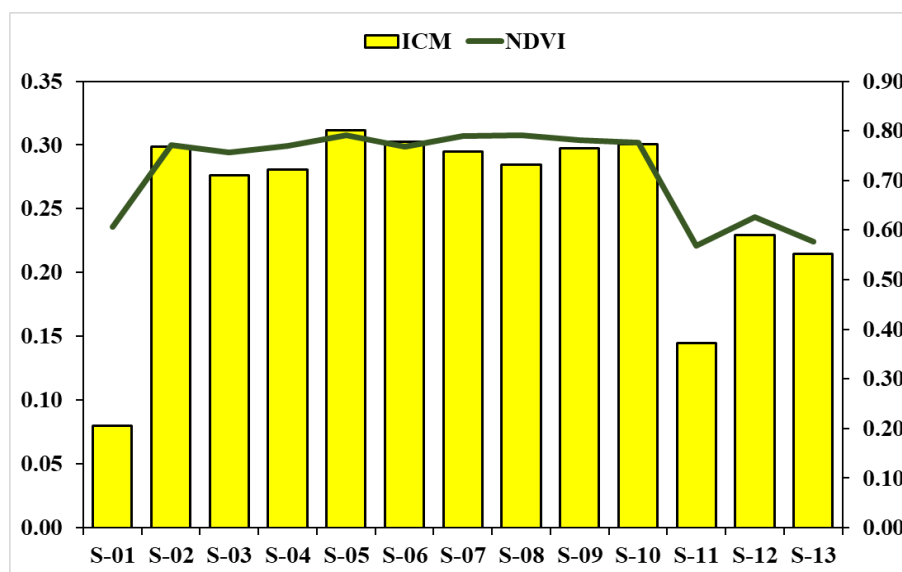
- Parcela III-2-SR: En la figura 4.4.39 se observa que en la semana 10 se tiene una máxima correlación con un valor de 0.9378 y una baja correlación en la semana 01 de 0.3808.





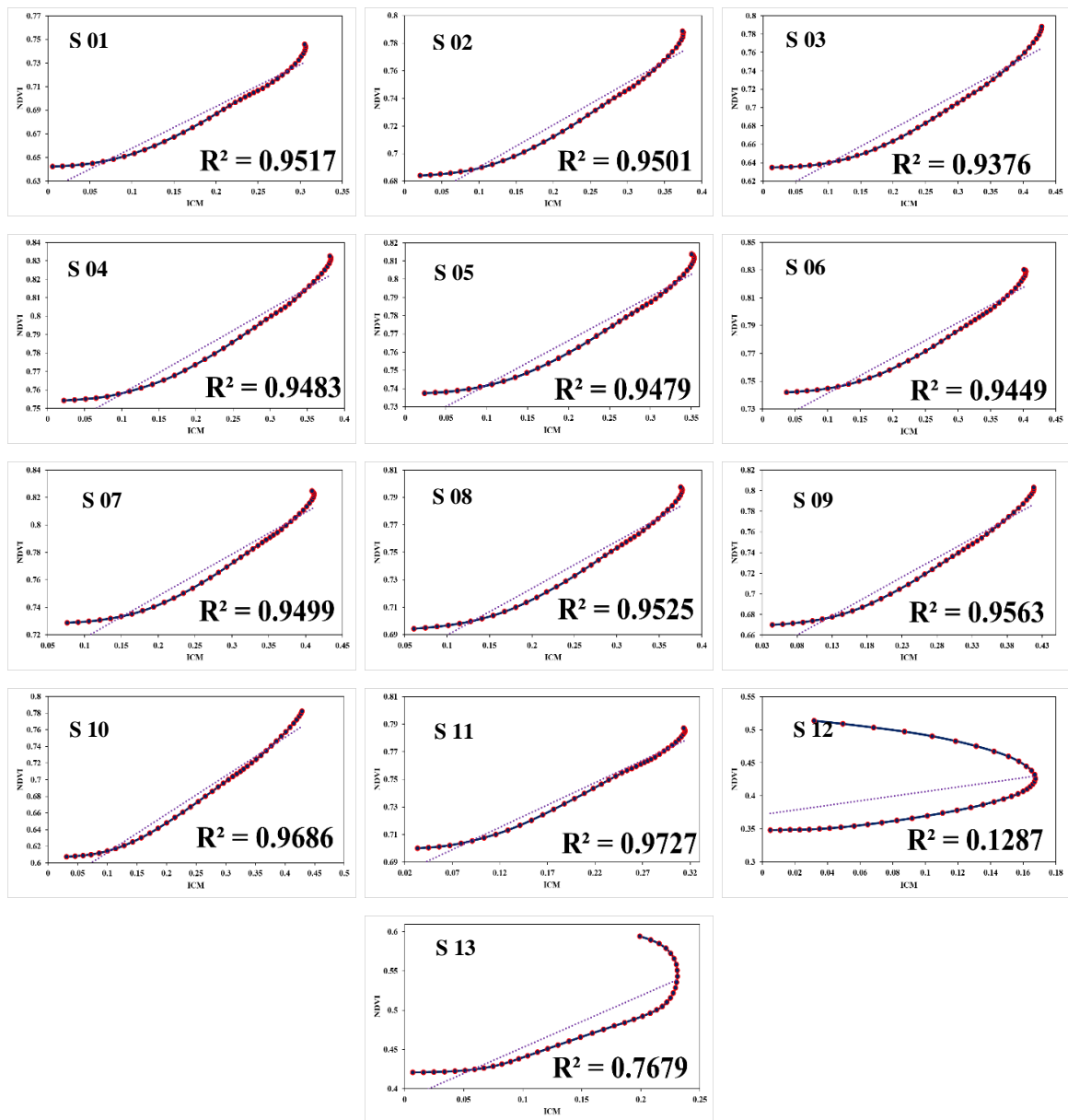
**Figura 4.4.39** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-2-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.40 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela III-2-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 07 y 08 del ICM las que muestran valores anómalos.



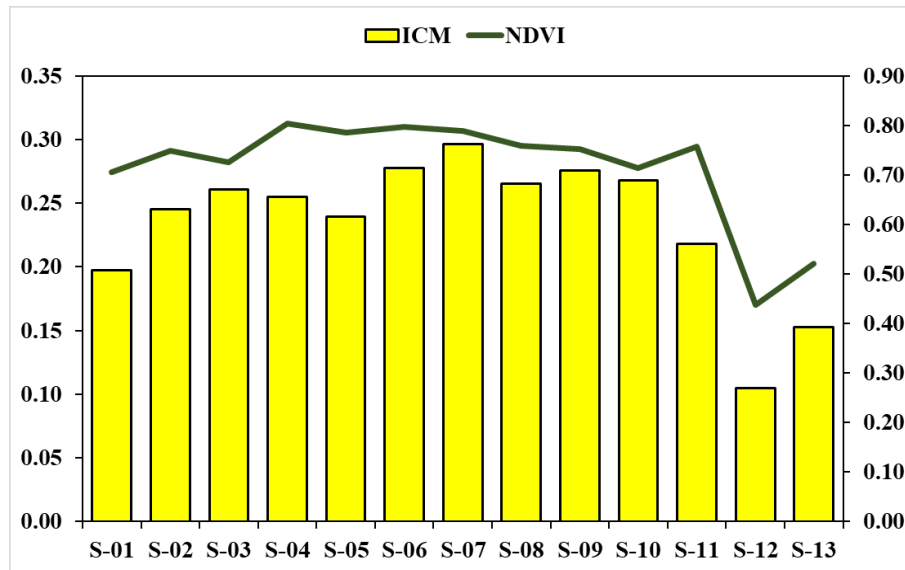
**Figura 4.4.40** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-2-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela III-3-CR: En la figura 4.4.41 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9727 y una baja correlación en la semana 12 de 0.1287.



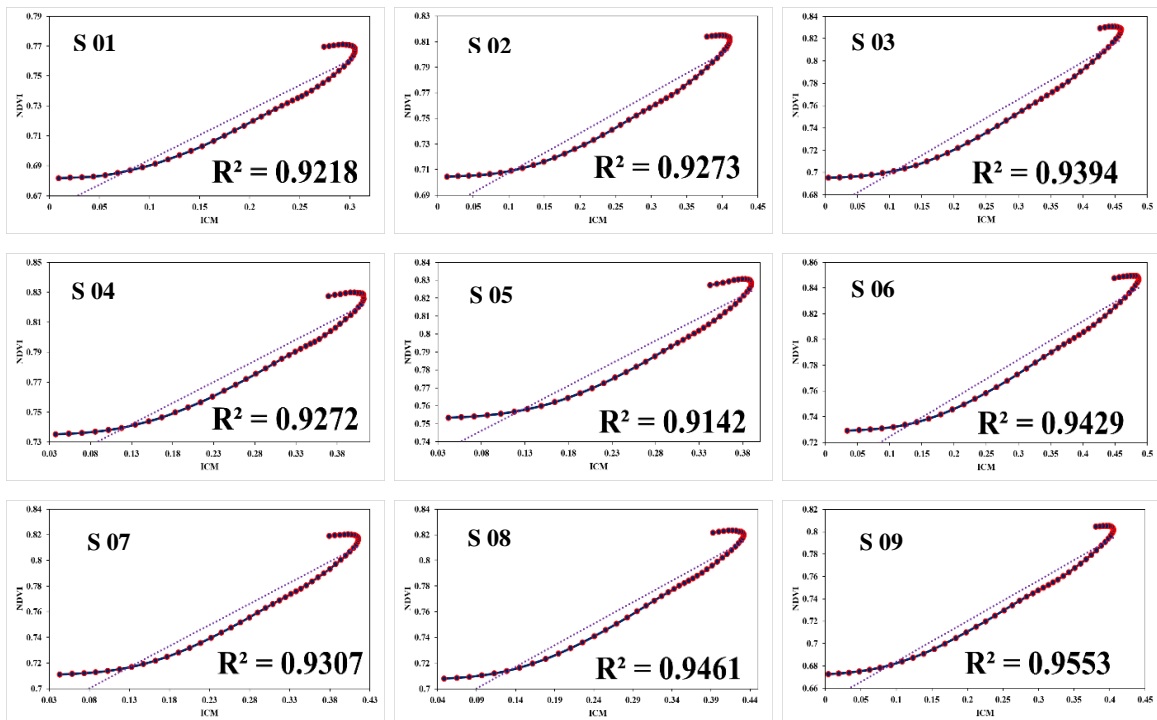
**Figura 4.4.41** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-3-CR durante las 13 semanas de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

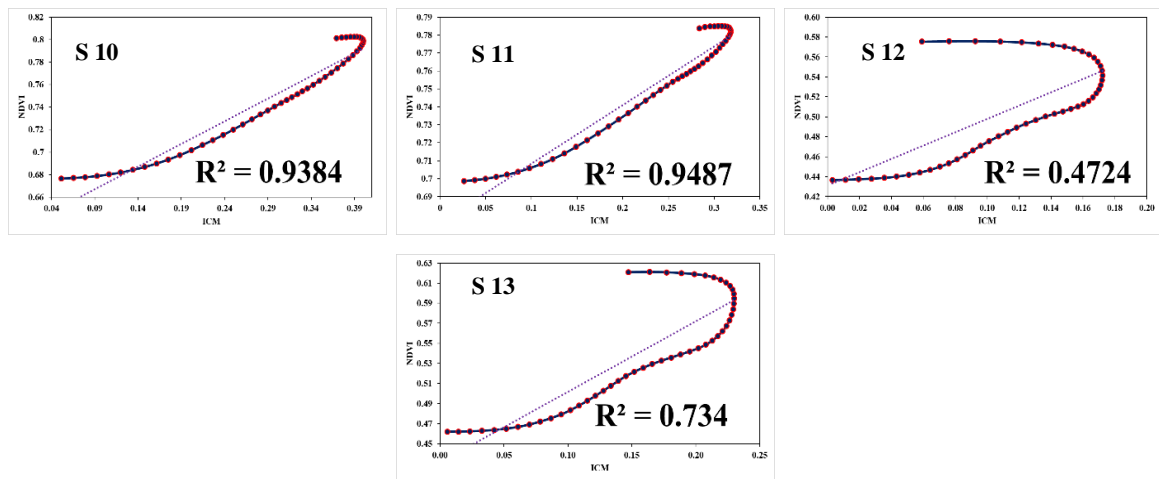
La figura 4.4.42 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela III-3-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04, 05 y 11 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.42** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-3-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

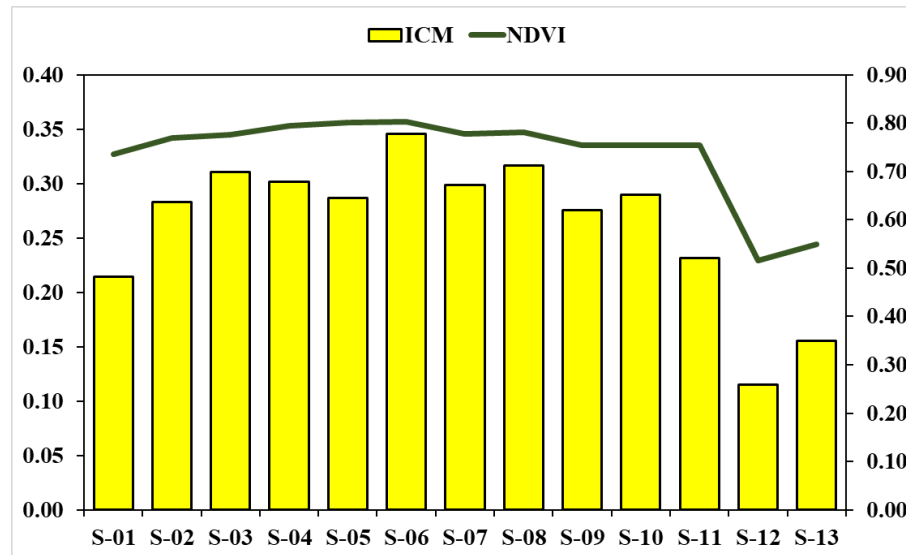
➤ Parcela III-3-SR: En la figura 4.4.43 se observa que en la semana 09 se tiene una máxima correlación de 0.9553 y una baja correlación en la semana 12 de 0.4724.





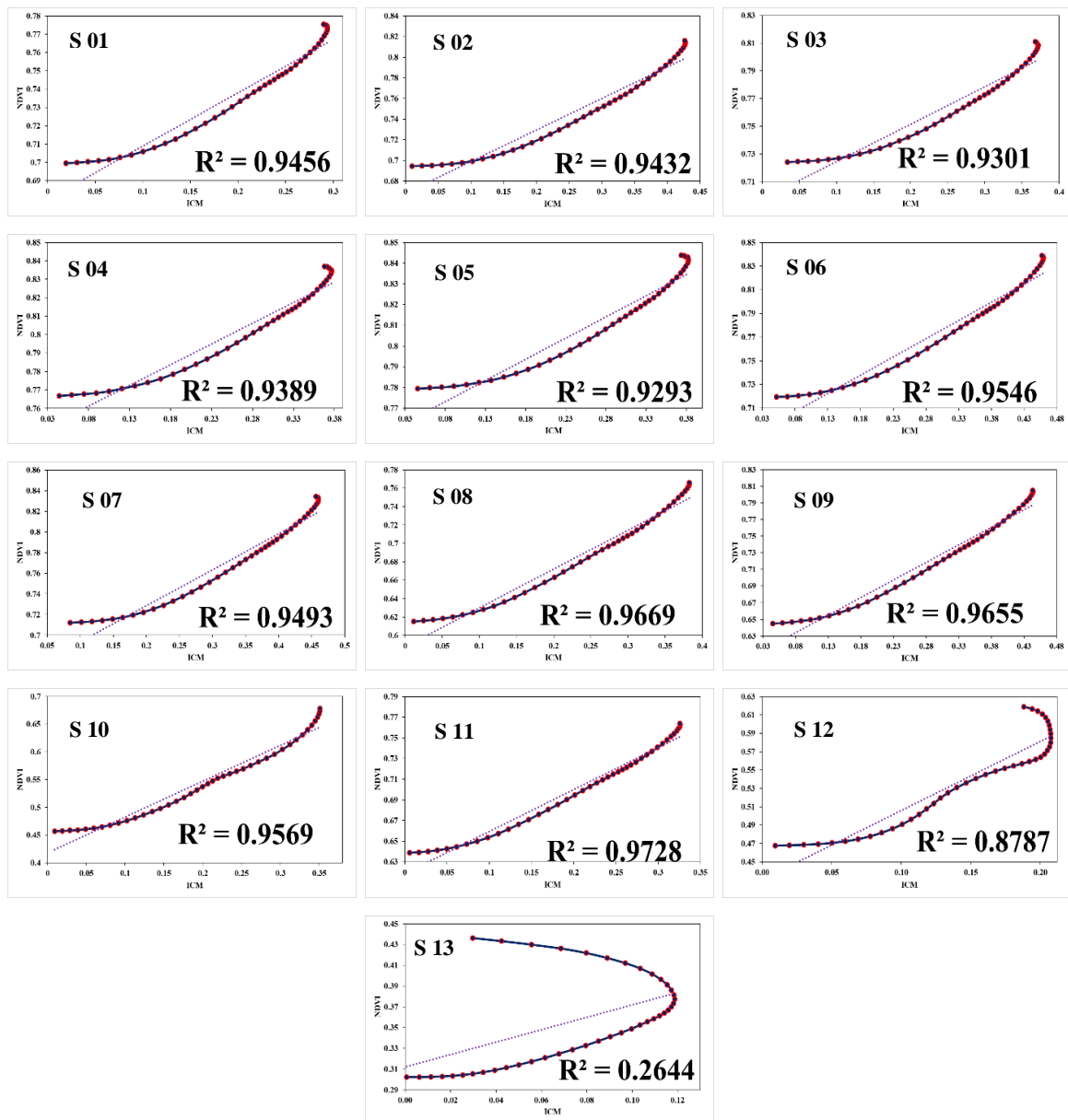
**Figura 4.4.43** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-3-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.44 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela III-3-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04 y 05 11 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.44** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-3-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

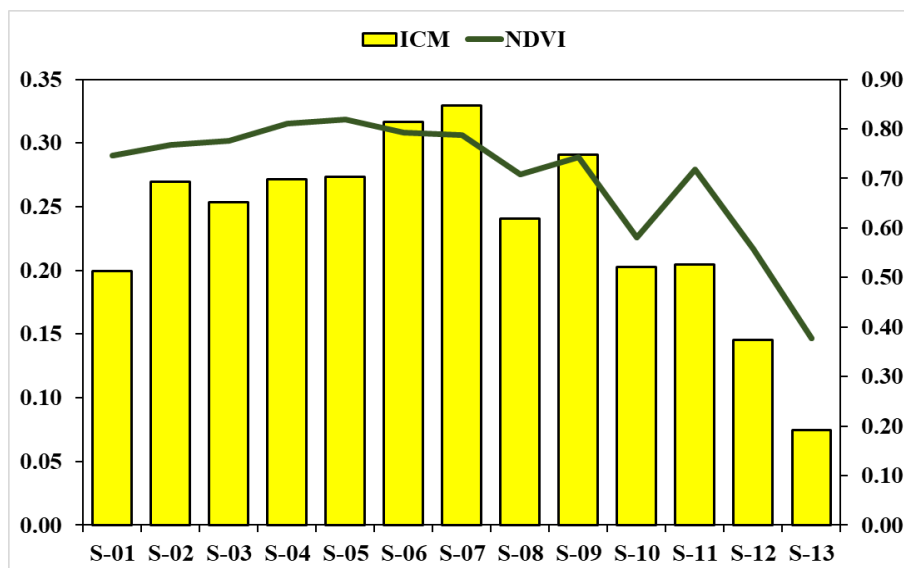
➤ Parcela III-4-CR: En la figura 4.4.45 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9728 y una baja correlación en la semana 13 de 0.2644.



**Figura 4.4.45** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-4-CR durante las 13 semanas de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

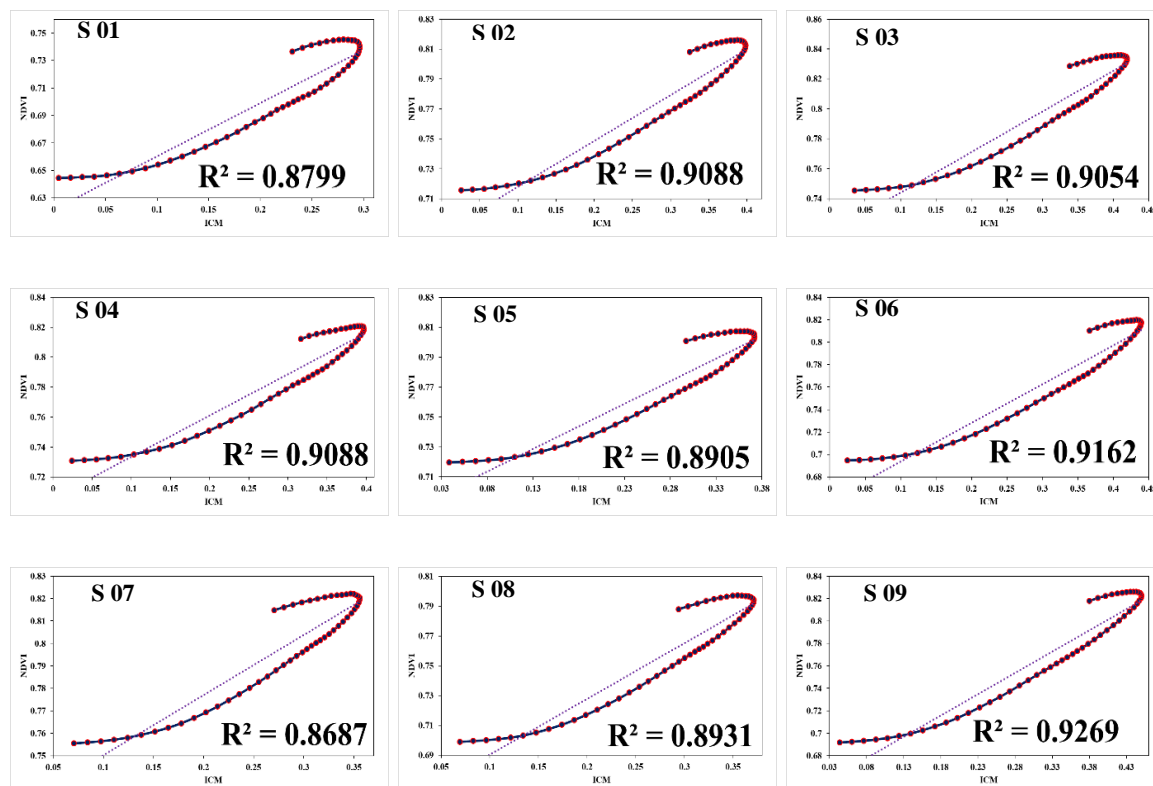
La figura 4.4.46 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela III-4-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 07 y 11 las que muestran valores anómalos.

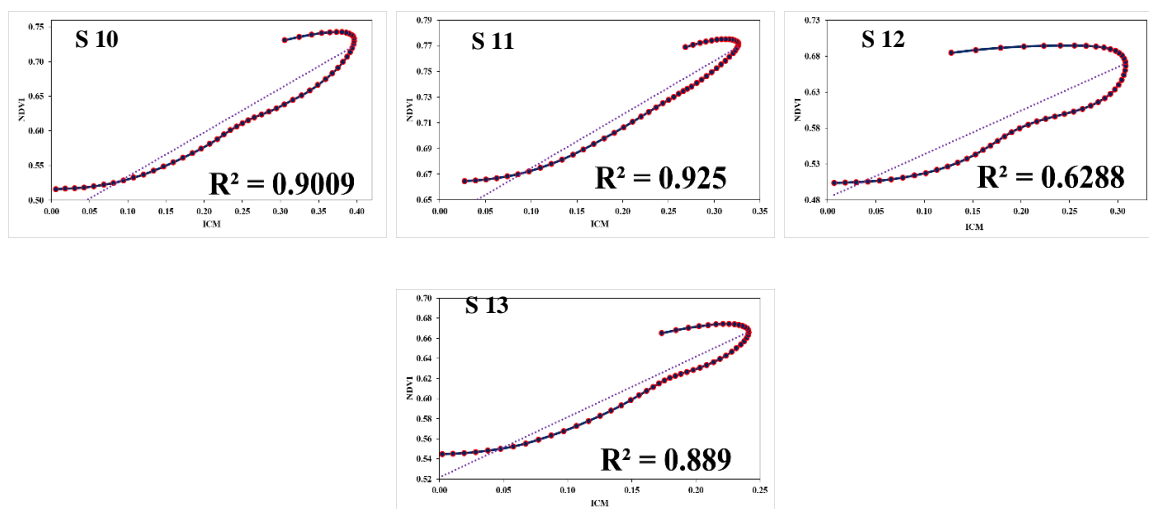




**Figura 4.4.46** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-4-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

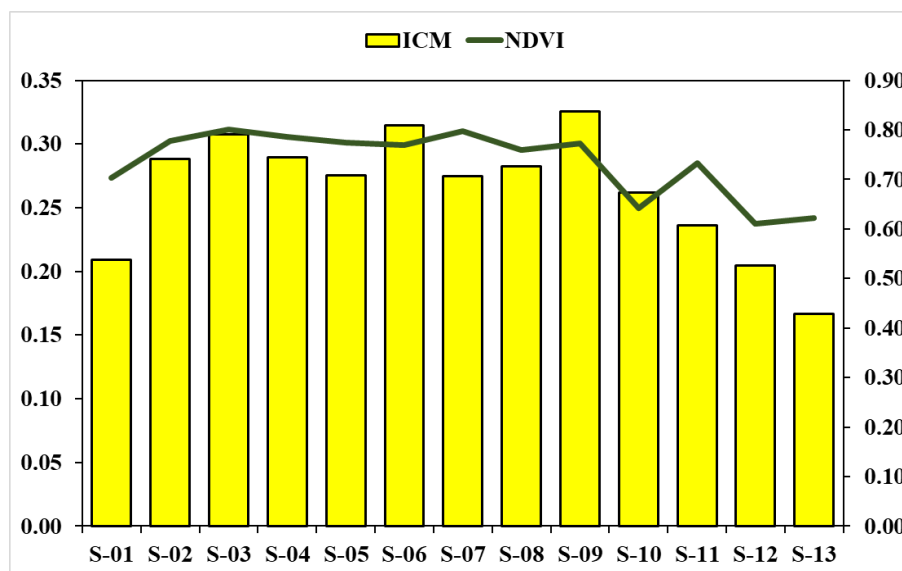
➤ Parcela III-4-SR: En la figura 4.4.47 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9250 y una baja correlación en la semana 12 de 0.6288.





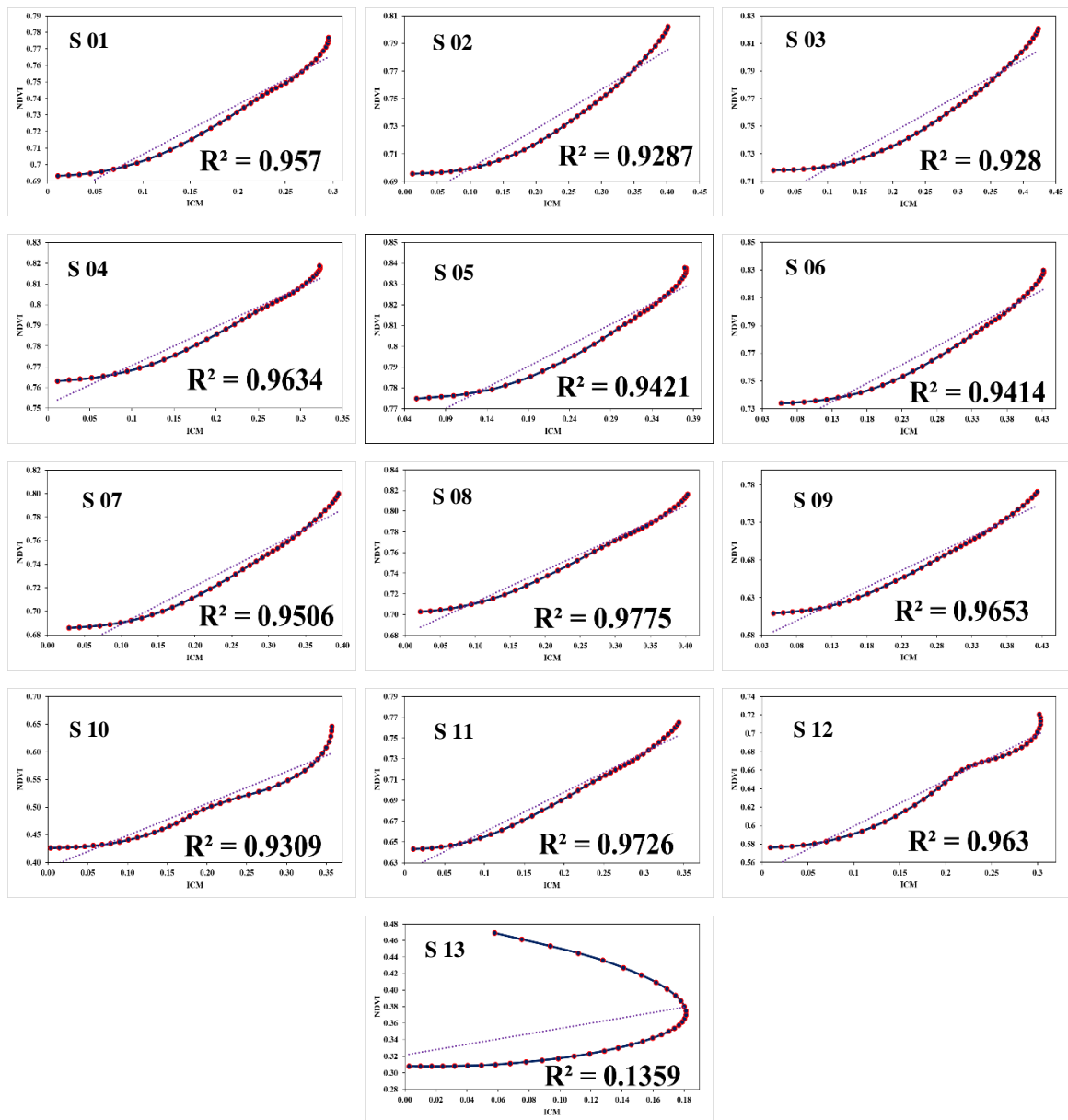
**Figura 4.4.47** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-4-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.48 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela III-4-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 06 y 11 las que muestran valores anómalos.



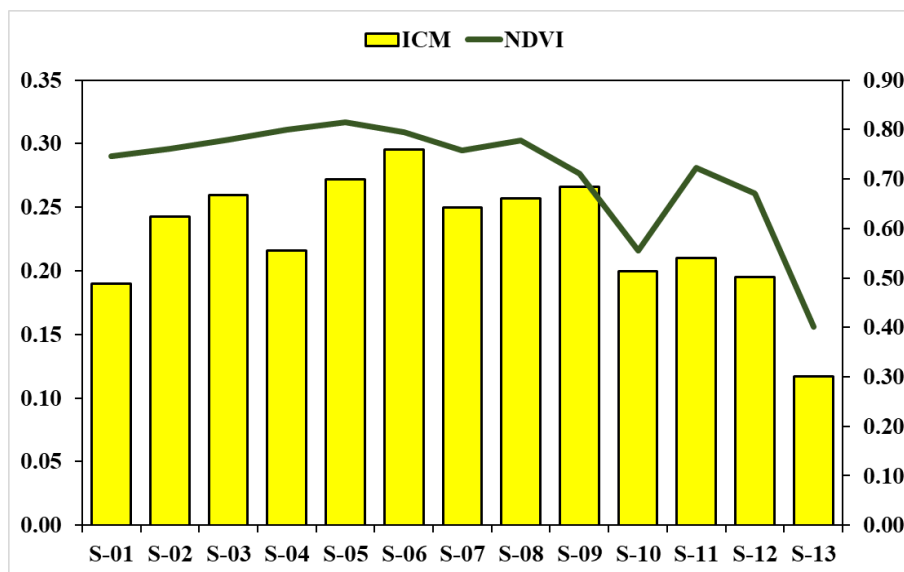
**Figura 4.4.48** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela III-4-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela IV-1-CR: En la figura 4.4.49 se observa que en la semana 08 se tiene una máxima correlación de 0.9775 y una baja correlación en la semana 13 de 0.1359.



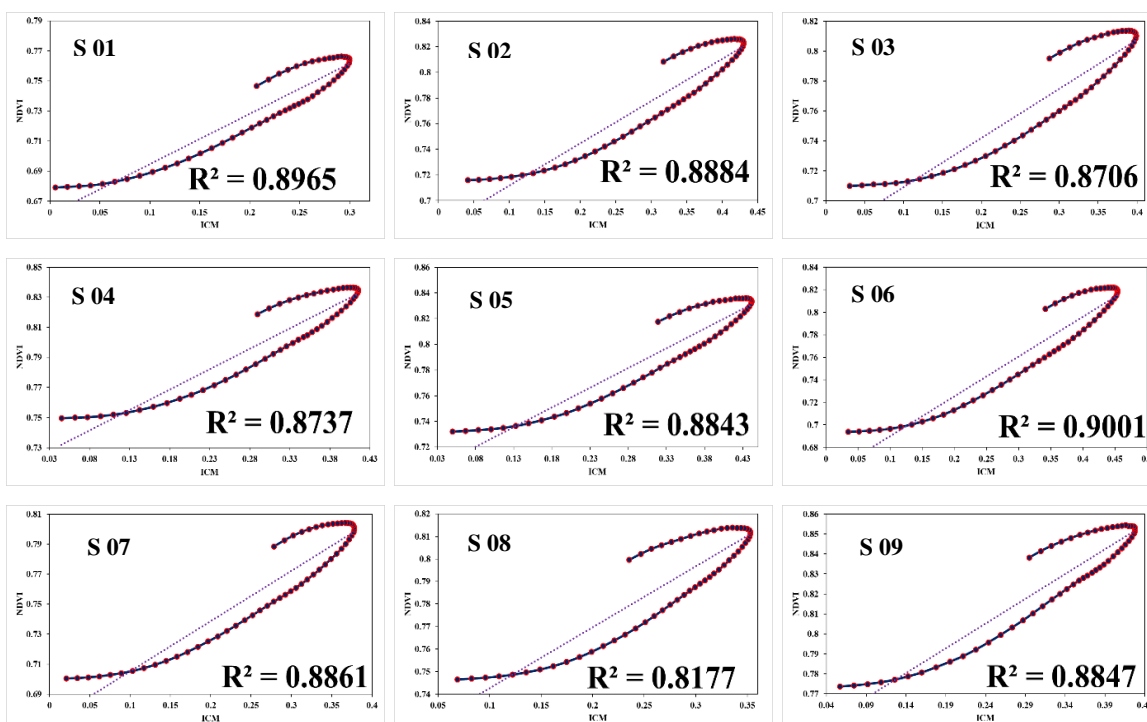
**Figura 4.4.49** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-1-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

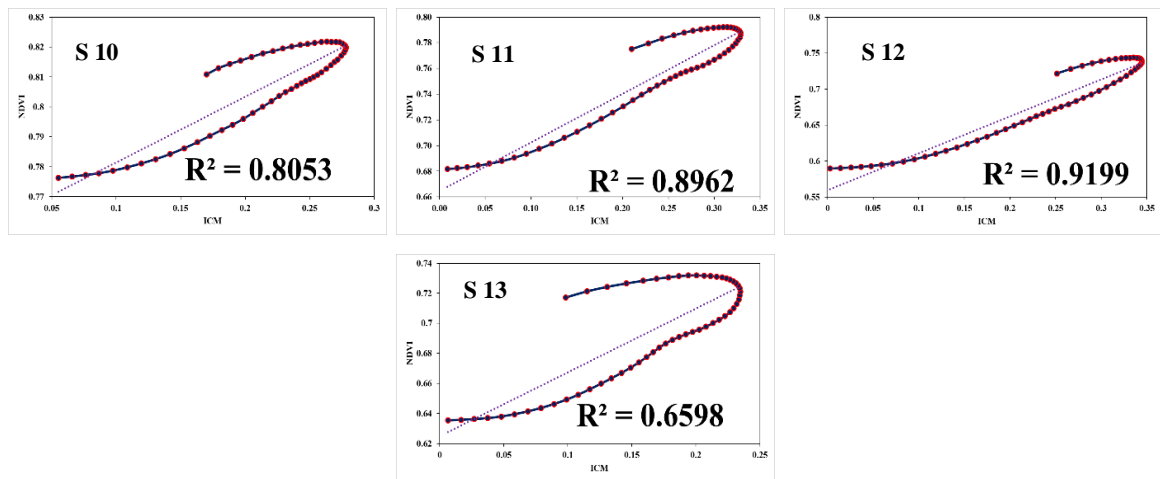
La figura 4.4.50 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela IV-1-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04 y 05 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.50** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-1-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

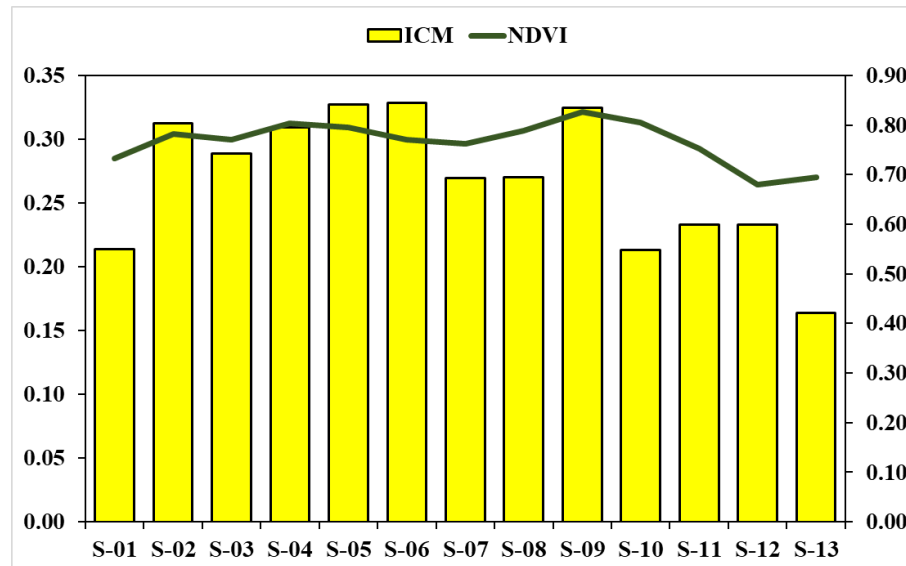
➤ Parcela IV-1-SR: En la figura 4.4.51 se observa que en la semana 12 se tiene una máxima correlación de 0.9199 y una baja correlación en la semana 13 de 0.6598.





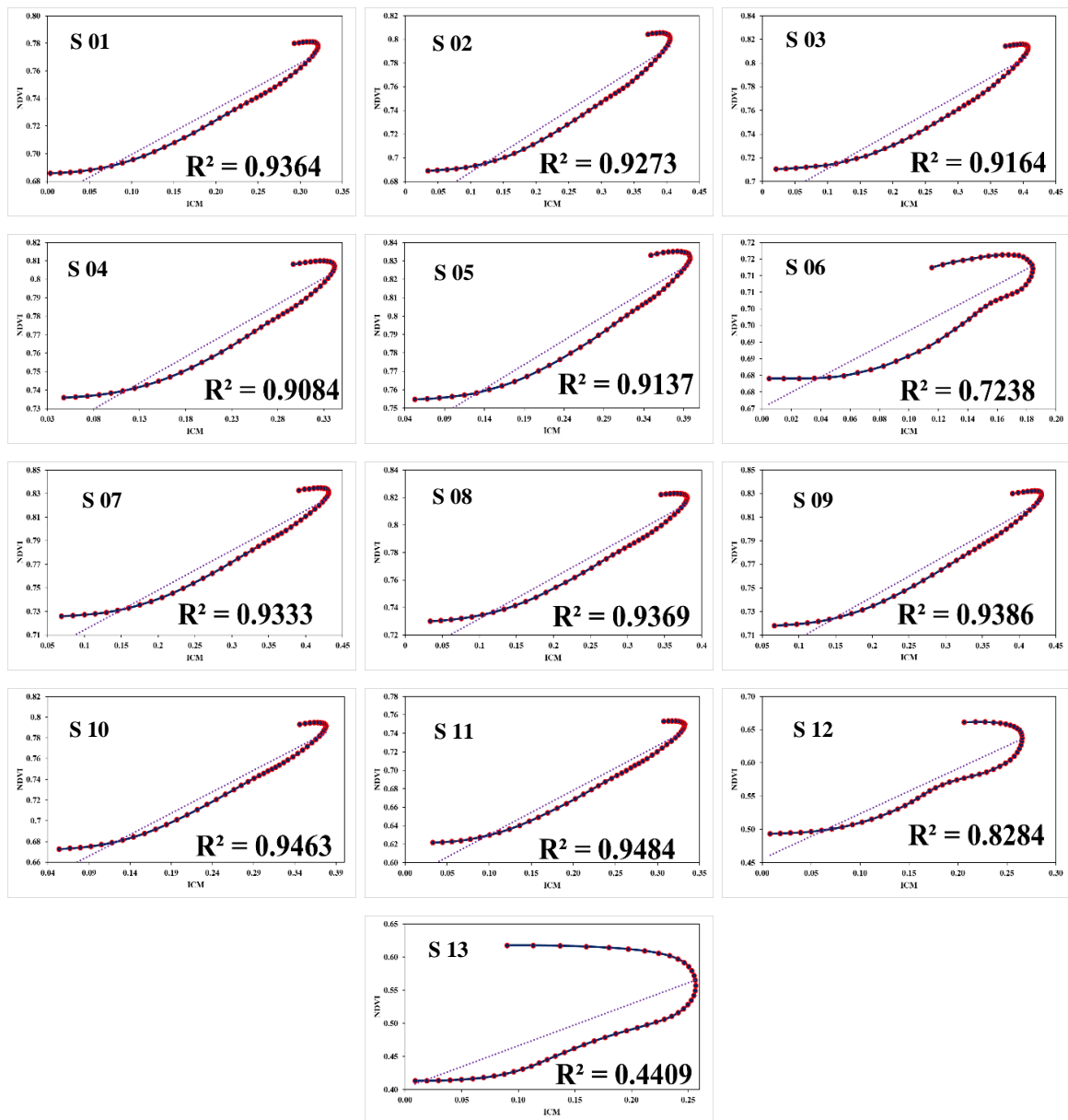
**Figura 4.4.51** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-1-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.52 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela IV-1-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 05, 06 y 10 del ICM las que muestran valores anómalos.



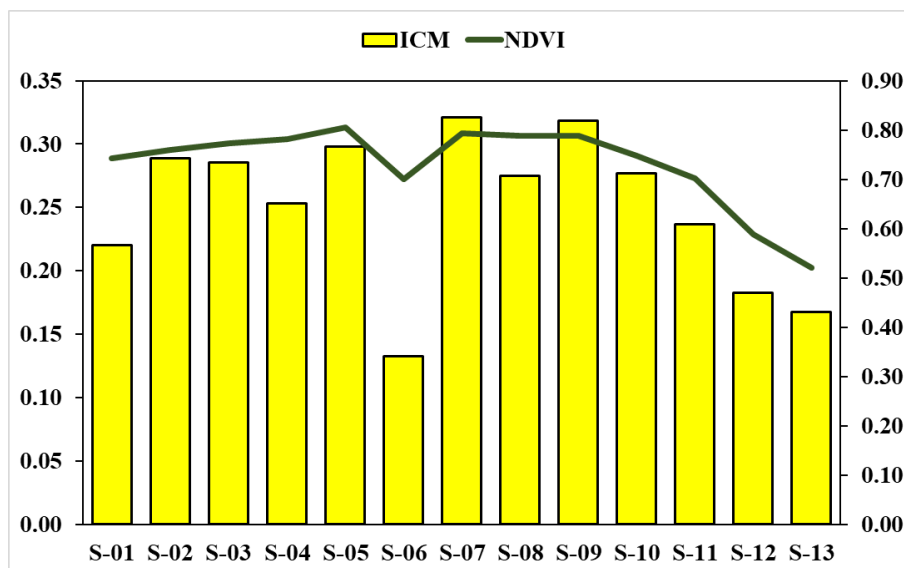
**Figura 4.4.52** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-1-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela IV-2-CR: En la figura 4.4.53 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9484 y una baja correlación en la semana 13 de 0.4409.



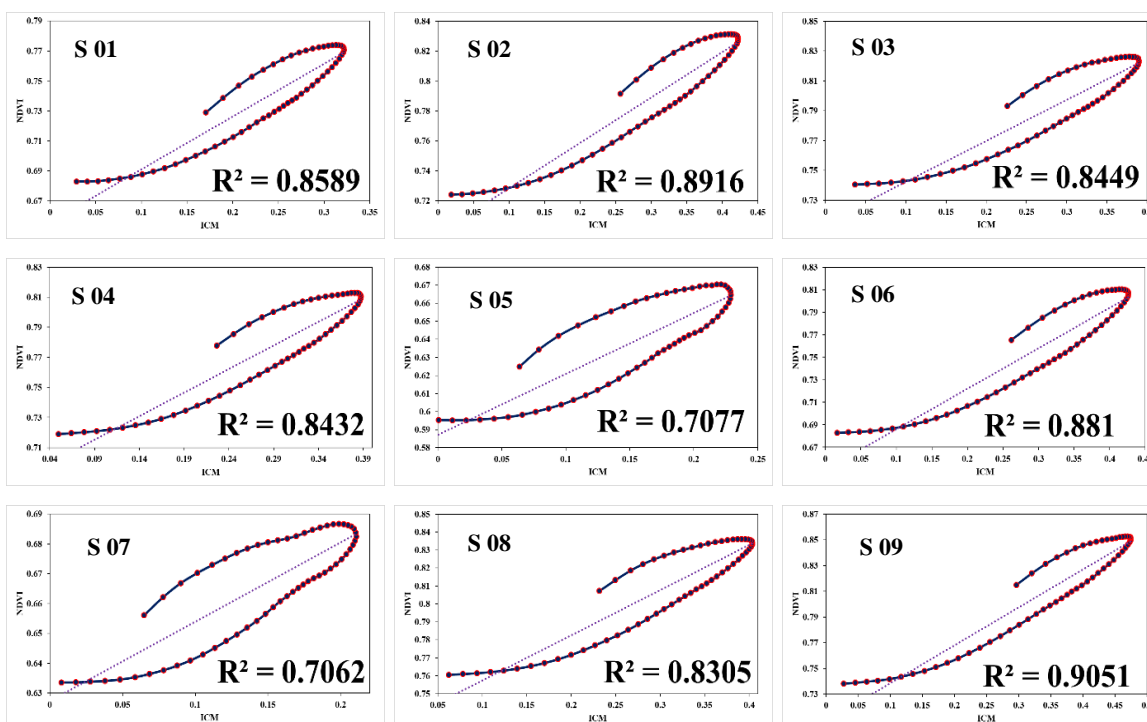
**Figura 4.4.53** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-2-CR durante las 13 semanas de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

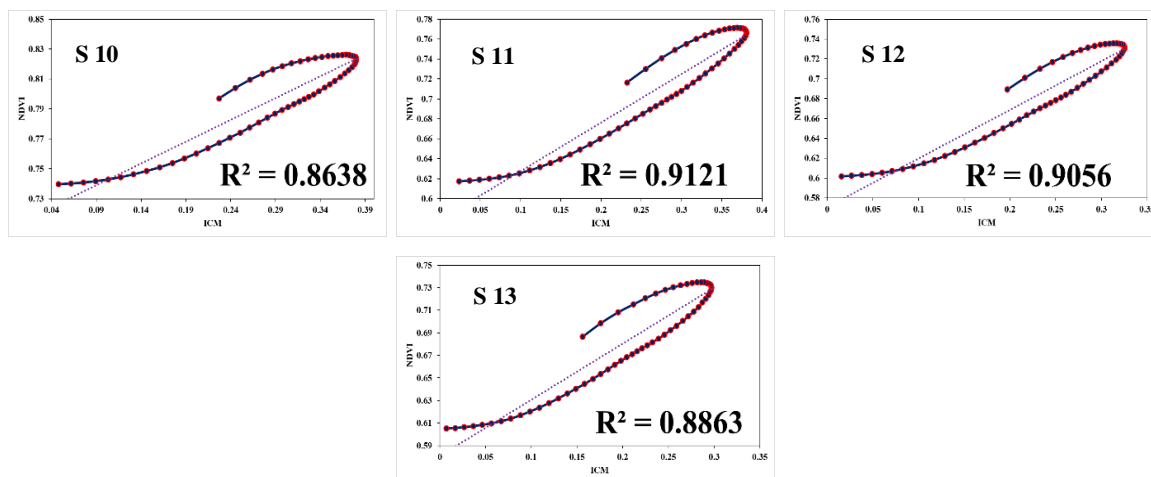
La figura 4.4.54 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela IV-2-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 03 y 04 del ICM la que muestra valores anómalos.



**Figura 4.4.54** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-2-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

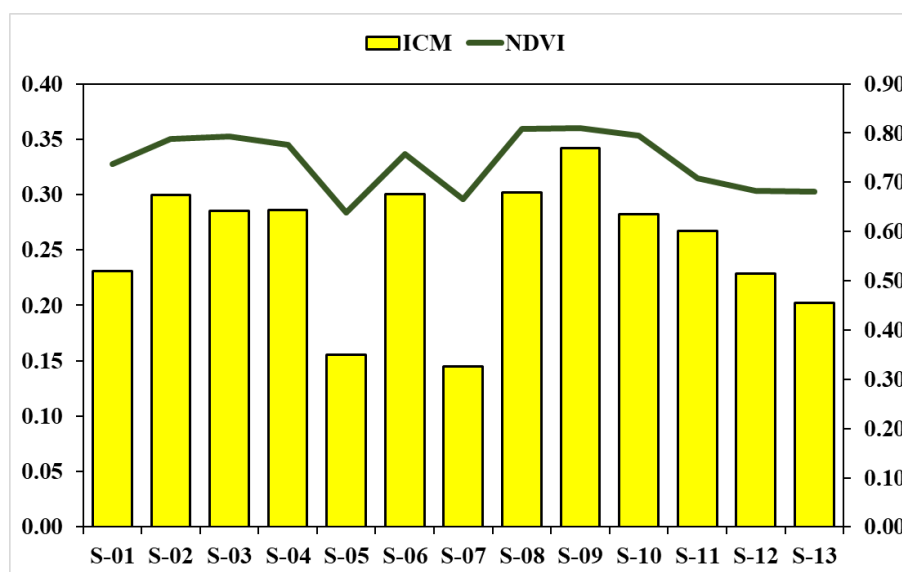
➤ Parcela IV-2-SR: En la figura 4.4.55 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9121 y una baja correlación en la semana 07 de 0.7062.





**Figura 4.4.55** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-2-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

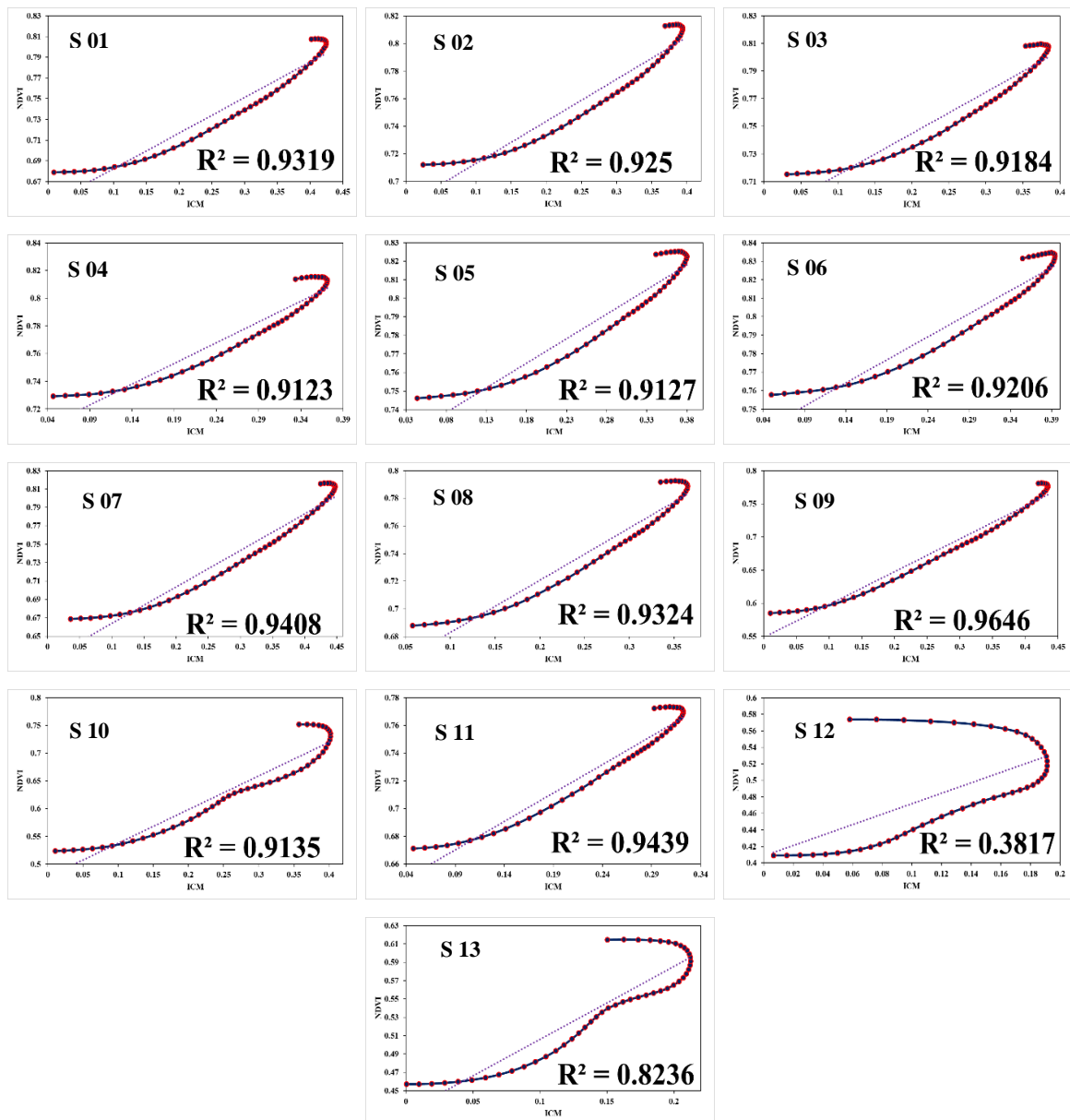
La figura 4.4.56 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela IV-2-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo la semana 03 del ICM la que muestra valores anómalos.



**Figura 4.4.56** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-2-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

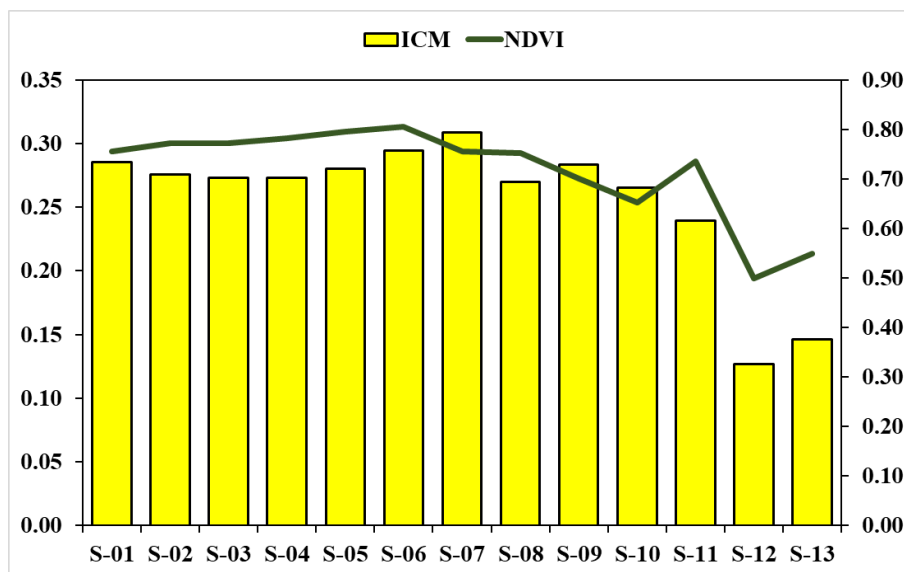
- Parcela IV-3-CR: En la figura 4.4.57 se observa que en la semana 09 se tiene una máxima correlación de 0.9646 y una baja correlación en la semana 12 de 0.3817.





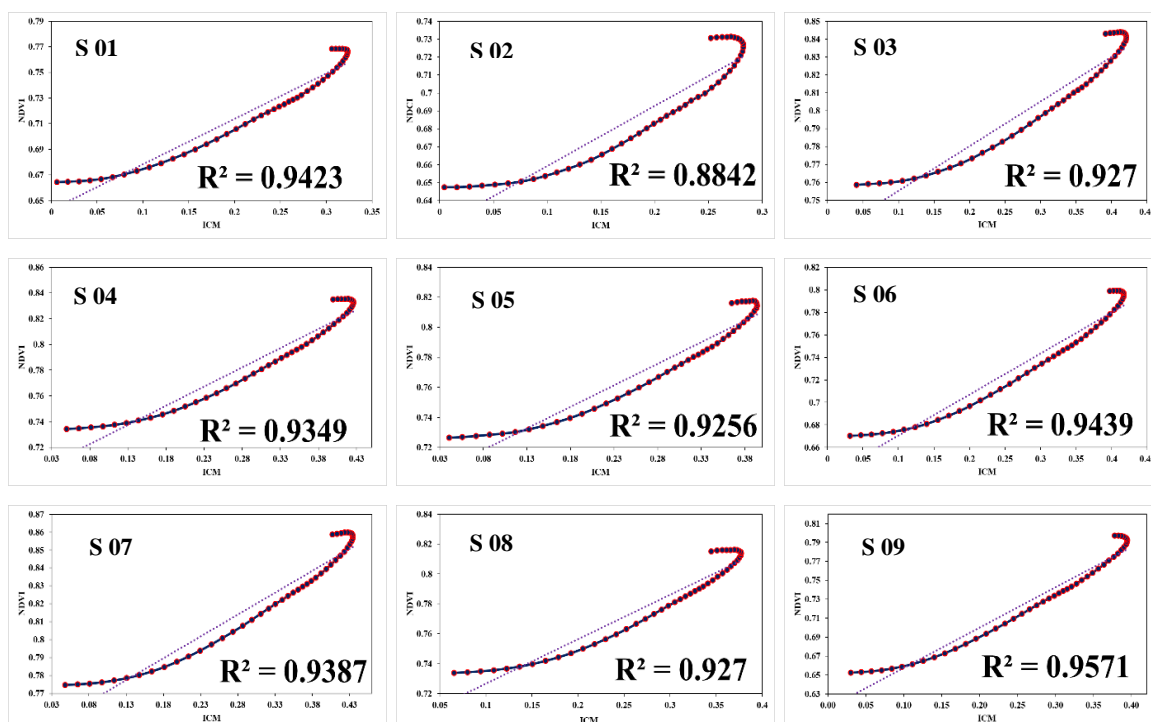
**Figura 4.4.57** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-3-CR durante las 13 semanas de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

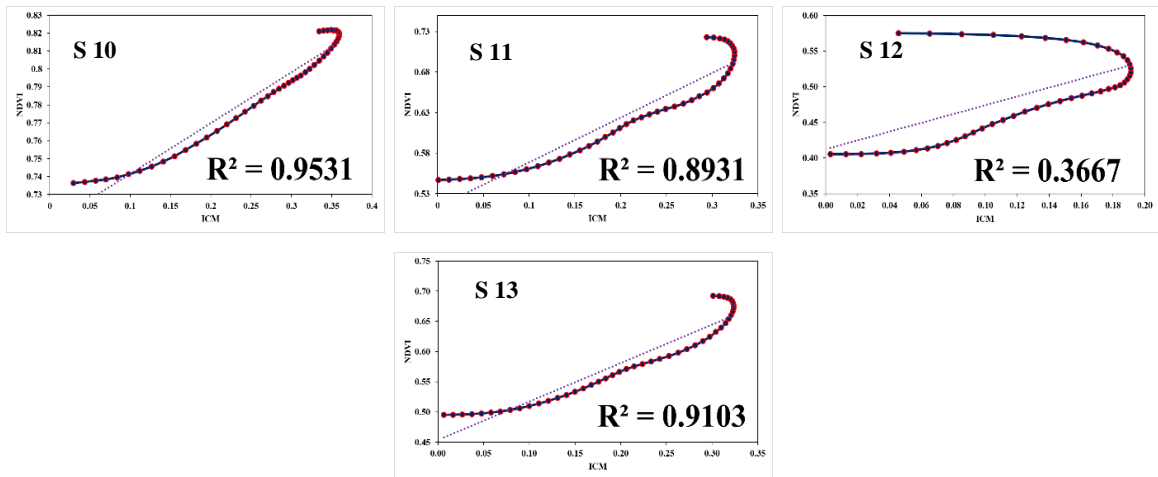
La figura 4.4.58 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela IV-3-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 01, 07, 08 y 11 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.58** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-3-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

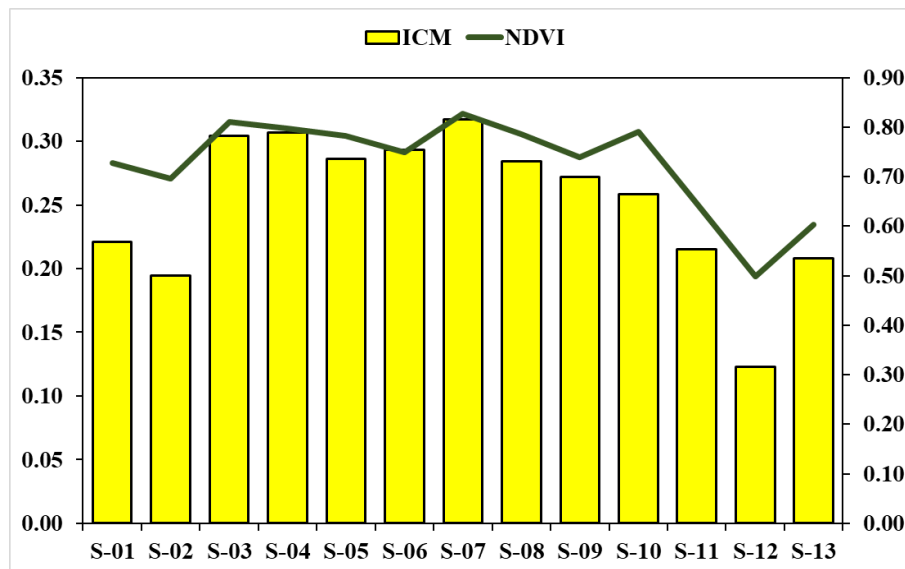
➤ Parcela IV-3-SR: En la figura 4.4.59 se observa que en la semana 09 se tiene una máxima correlación de 0.9571 y una baja correlación en la semana 12 de 0.3667.





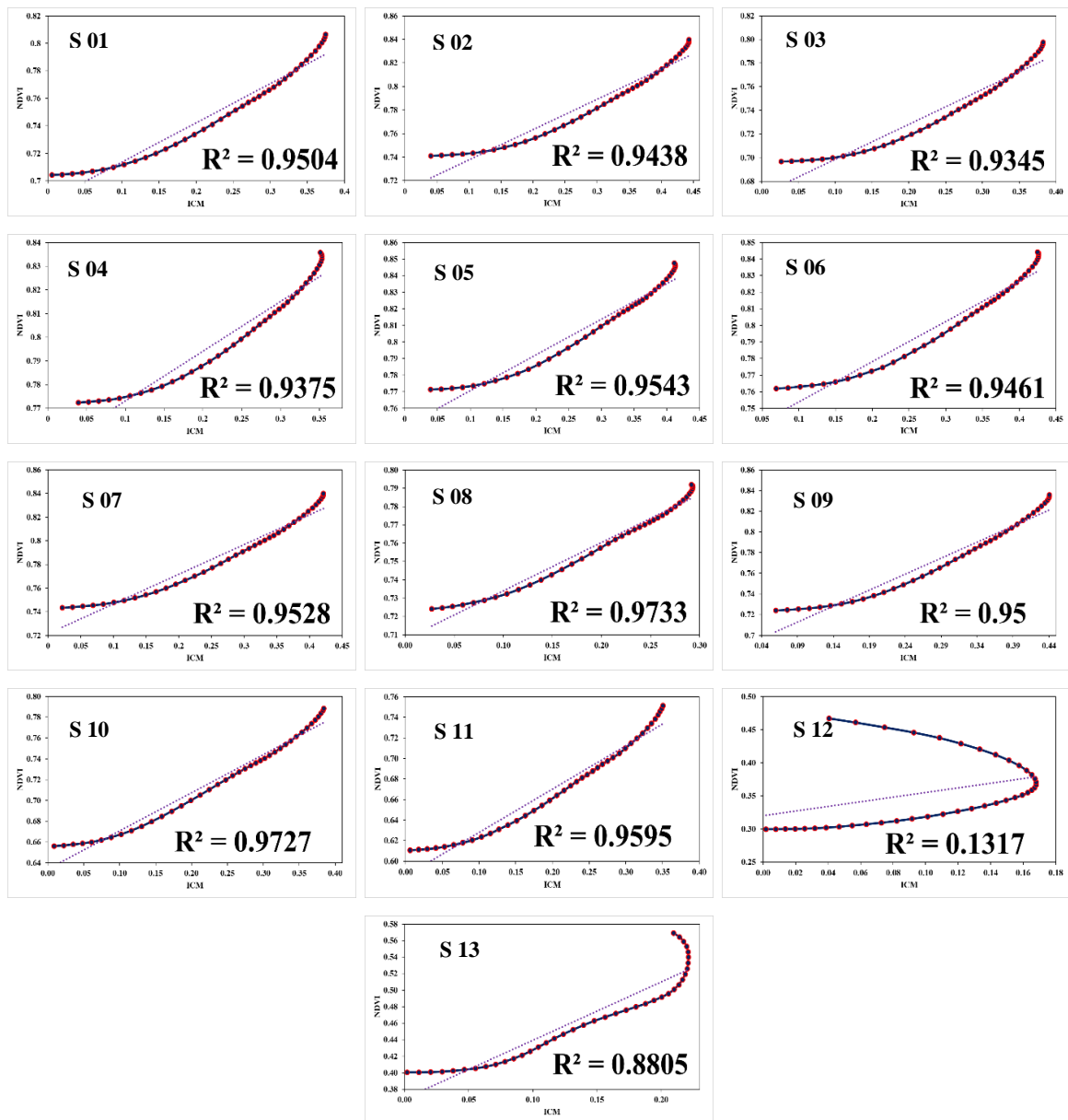
**Figura 4.4.59** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-3-SR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.60 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela IV-3-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo la semana 05 del ICM la que muestra valores anómalos.



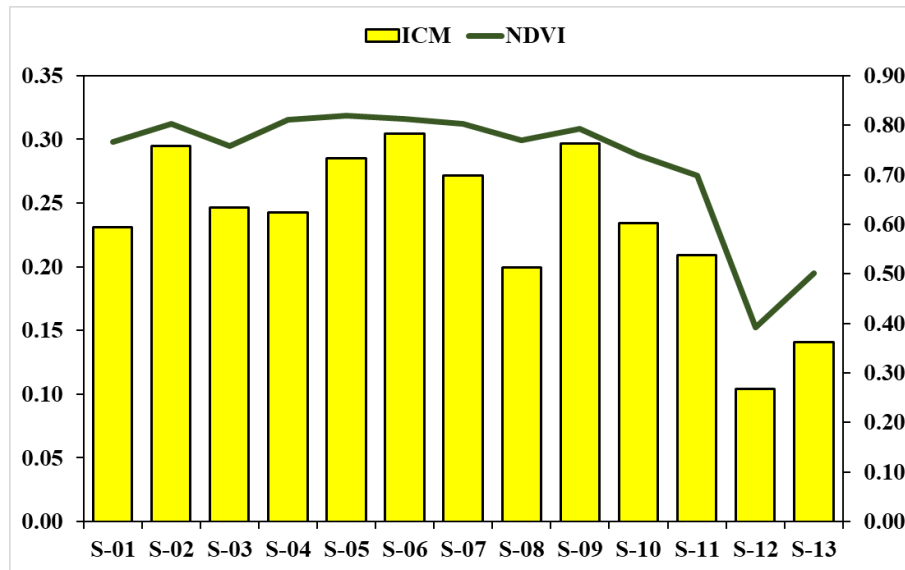
**Figura 4.4.60** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-3-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

- Parcela IV-4-CR: En la figura 4.4.61 se observa que en la semana 08 se tiene una máxima correlación de 0.9571 y una baja correlación en la semana 12 de 0.1317.



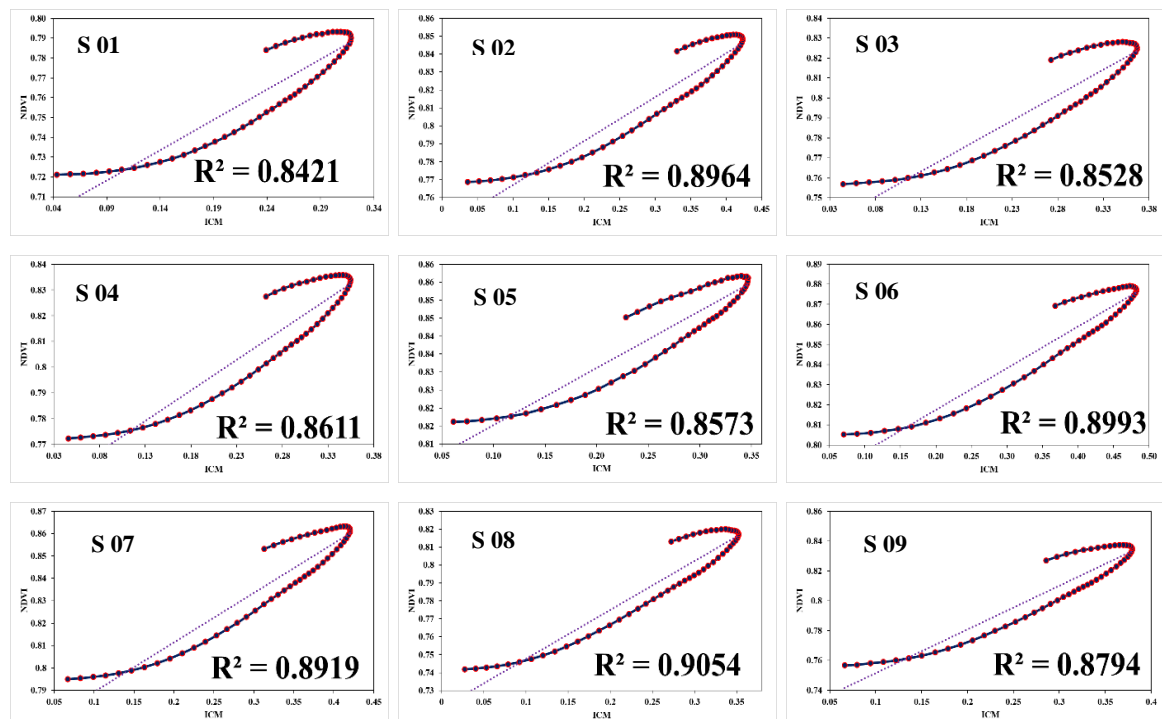
**Figura 4.4.61** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-4-CR durante las 13 semana de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

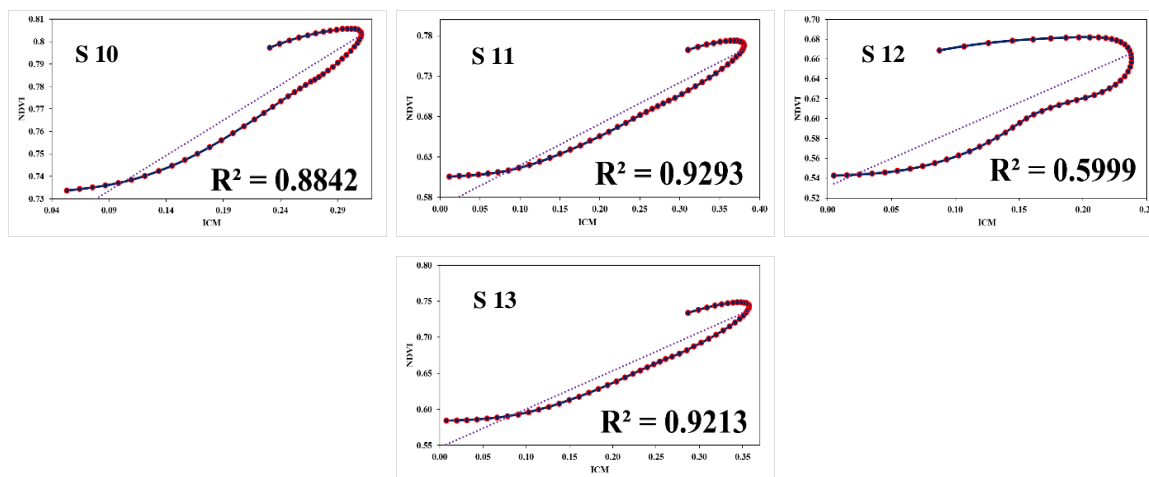
La figura 4.4.62 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela IV-4-CR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo la semana 04 del ICM la que muestra valores anómalos.



**Figura 4.4.62** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-4-CR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

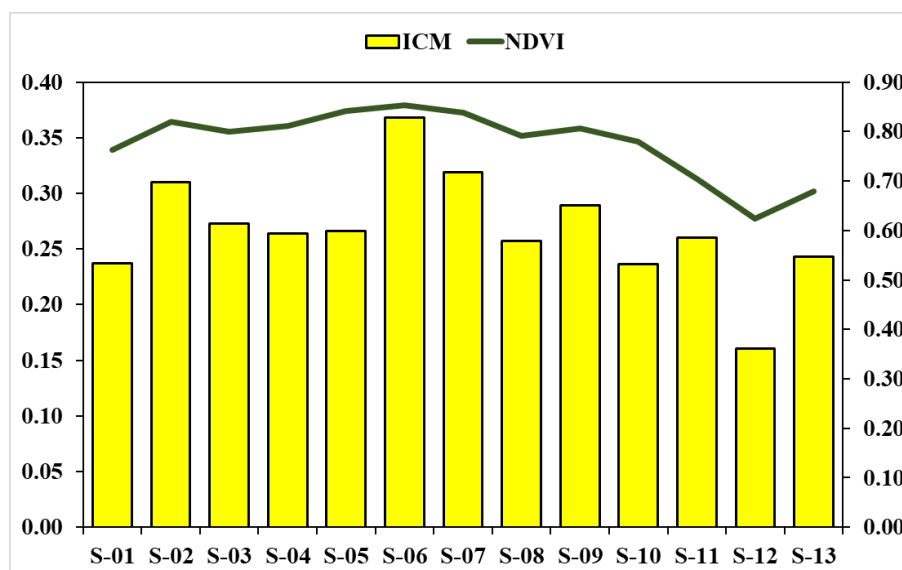
➤ Parcela IV-4-SR: En la figura 4.4.63 se observa que en la semana 11 se tiene una máxima correlación de 0.9293 y una baja correlación en la semana 12 de 0.5999.





**Figura 4.4.63** Correlaciones del Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-4-SR durante las 13 semanas de su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

La figura 4.4.64 muestra la comparación del comportamiento del ICM con respecto al NDVI de la parcela IV-4-SR, se observa que el patrón de comportamiento es similar en todas las semanas, siendo las semanas 04, 05 y 10 del ICM las que muestran valores anómalos.



**Figura 4.4.64** Comparación de la media entre el Índice de diferencia normalizada (NDVI) con el Índice de clorofila modificada (ICM) de la parcela IV-4-SR durante su crecimiento del cultivo de frijol en el campo experimental de agronomía en la Ciudad Universitaria UNSCH.

En la tabla 4.1 se observa los valores máximos y mínimos obtenidos del Índice de clorofila (ICM), Índice de diferencia normalizada (NDVI) y las Correlaciones en el terreno de cultivo del frijol Sin Rhizobium (bacteria, fijadora de nitrógeno atmosférico)

en el Bloque I (Arcillosa), Bloque II y III (Intermedio) y el Bloque IV (Pedregoso) con diferentes técnicas de apoyo en el abono como Mulch y Hydrosorb(1), Mulch(2), Hydrosorb(3) y el Testigo(4).

**Tabla 4.1.** Valores máximos y mínimos del ICM, NDVI y correlaciones en los cuatro bloques de cultivo Sin Rhizobium.

Bloques	Abono Sin Rhizobium	ICM		NDVI		Correlación	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Bloque I	I-1-SR	0.33	0.15	0.81	0.34	0.913	0.642
	I-2-SR	0.31	0.18	0.80	0.42	0.952	0.447
	I-3-SR	0.32	0.15	0.80	0.49	0.955	0.811
	I-4-SR	0.29	0.11	0.81	0.46	0.956	0.344
Bloque II	II-1-SR	0.34	0.03	0.79	0.47	0.945	0.309
	II-2-SR	0.35	0.09	0.85	0.39	0.924	0.172
	II-3-SR	0.31	0.12	0.82	0.46	0.969	0.306
	II-4-SR	0.32	0.11	0.79	0.57	0.929	0.595
Bloque III	III-1-SR	0.32	0.19	0.78	0.53	0.938	0.544
	III-2-SR	0.31	0.08	0.79	0.57	0.938	0.381
	III-3-SR	0.35	0.11	0.80	0.51	0.955	0.472
	III-4-SR	0.33	0.17	0.80	0.61	0.925	0.629
Bloque IV	IV-1-SR	0.33	0.16	0.83	0.68	0.919	0.659
	IV-2-SR	0.34	0.14	0.81	0.64	0.912	0.706
	IV-3-SR	0.32	0.12	0.83	0.50	0.957	0.367
	IV-4-SR	0.37	0.16	0.85	0.62	0.929	0.599

En la tabla 4.2. se observa los valores máximos y mínimos obtenidos del Índice de clorofila (ICM), Índice de diferencia normalizada (NDVI) y las Correlaciones en el terreno de cultivo del frijol Con Rhizobium (bacteria, fijadora de nitrógeno atmosférico) en el Bloque I (Arcillosa), Bloque II y III (Intermedio) y el Bloque IV (Pedregoso) con diferentes técnicas de apoyo en el abono como Mulch y Hydrosorb(1), Mulch(2), Hydrosorb(3) y el Testigo(4).

**Tabla 4.2.** Valores máximos y mínimos del ICM, NDVI y correlaciones en los cuatro bloques de cultivo Con Rhizobium.

Bloques	Abono Con Rhizobium	ICM		NDVI		Correlación	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Bloque I	I-1-CR	0.31	0.08	0.81	0.34	0.960	0.669
	I-2-CR	0.30	0.13	0.80	0.42	0.949	0.289
	I-3-CR	0.40	0.11	0.80	0.47	0.985	0.779
	I-4-CR	0.30	0.16	0.83	0.51	0.965	0.804
Bloque II	II-1-CR	0.33	0.16	0.81	0.61	0.939	0.684
	II-2-CR	0.35	0.17	0.81	0.62	0.926	0.690
	II-3-CR	0.29	0.14	0.81	0.50	0.927	0.406
	II-4-CR	0.32	0.18	0.82	0.52	0.943	0.534
Bloque III	III-1-CR	0.32	0.16	0.81	0.48	0.960	0.299
	III-2-CR	0.31	0.20	0.82	0.55	0.836	0.686
	III-3-CR	0.30	0.10	0.80	0.44	0.973	0.129
	III-4-CR	0.33	0.07	0.82	0.38	0.973	0.264
Bloque IV	IV-1-CR	0.30	0.12	0.81	0.40	0.978	0.136
	IV-2-CR	0.32	0.13	0.80	0.52	0.949	0.441
	IV-3-CR	0.31	0.13	0.81	0.50	0.965	0.382
	IV-4-CR	0.30	0.10	0.82	0.39	0.957	0.132



## CONCLUSIONES

1. Se determinó las firmas espectrales del frijol (*Phaseolus vulgaris*) durante las distintas etapas de crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4, donde se observa patrones de reflectancia máxima de 0.4643 con una longitud de onda de  $0.563 \mu m$  para la parcela I-2-SR (Arcilloso- Mulch (sin hydrosorb)-Sin Rhizobium) en la semana 12, además de un valor mínimo de reflectancia de 0.1049 con una longitud de onda de  $0.566 \mu m$  en la semana 04 correspondiente a la parcela II-1-CR (Intermedio-Mulch y Hydrosorb-Con Rhizobium).
2. Se determinó el índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en distintas etapas de crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4, donde se observa patrones de índice de clorofila (ICM) con un máximo valor de 0.40 en la semana 01 para la parcela I-3-CR (Arcilloso- Hydrosorb (Sin Mulch)- Con Rhizobium), y un valor mínimo de 0.03 en la semana 01 para la parcela II-1-SR (Intermedio- Mulch y Hydrosorb-Sin Rhizobium).
3. Se determinó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (*Phaseolus vulgaris*) a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4, donde se observa patrones de índice de NDVI con un máximo valor de 0.85 en la semana 04 y 06 de las parcelas II-2-SR (Intermedio-Mulch(Sin Hydrosorb)-Sin Rhizobium) y IV-4-SR (Pedregoso- Testigo (Sin Hydrosorb, Sin Mulch)- Sin Rhizobium) respectivamente, y un valor mínimo de 0.34 en la semana 13 de la parcela I-1-CR (Arcilloso- Mulch y Hydrosorb- Con Rhizobium).
4. Se correlacionó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con respecto al índice de clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*), en sus distintas etapas de crecimiento, encontrándose una máxima correlación en la semana 01 con un valor de 0.9852 de la parcela I-3-CR (Arcilloso- Hydrosorb (Sin Mulch)- Con Rhizobium) y una baja correlación de 0.1287 en la semana 12 de la parcela III-3-CR (Intermedio- Hydrosorb (Sin Mulch)- Con Rhizobium).

## **RECOMENDACIONES**

- Para próximas investigaciones se deben realizar las mediciones de firmas espectrales en la misma posición de la planta, es decir donde se encuentre posicionada relativo al ángulo de incidencia de la luz solar.
- En caso de anomalías como aparición de nubes (sombras), fuertes vientos o ruidos que interfieran la toma de datos, esperar el momento oportuno para hacer una nueva toma de datos con el fin de poder estar seguros que se haya hecho un buen trabajo y no llegar a resultados anómalos en los procesamientos de datos.
- Se debe validar el ICM con un instrumento de medición de clorofila.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13(1-2), 95-120. <https://doi.org/10.1080/02757259509532298>
- Bedoya, D., Harold Andres. (2014). *Modelación del contenido de clorofila basado en la reflectancia medida por espectroradiometría de campo en caña de azúcar*. UNIVERSIDAD DEL VALLE ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMÁTICA INGENIERÍA TOPOGRAFICA SANTIAGO DE CALI.
- Callejas, R., Kania, E., Contreras, A., Peppi, C., & Morales, L. (2013). Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa. *Idesia (Arica)*, 31(4), 19-26. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292013000400003>
- De Lima Vasconcelos, R., De Mello Prado, R., Reyes Hernández, A., & Caione, G. (2014). Efecto del horario de medición, posición y porción de la hoja en los índices de clorofila en la papa. *Idesia (Arica)*, 32(4), 23-28. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000400004>
- Demetriades-Shah, T. H., Steven, M. D., & Clark, J. A. (1990). High resolution derivative spectra in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 33(1), 55-64. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(90\)90055-Q](https://doi.org/10.1016/0034-4257(90)90055-Q)
- Jin, X., Diao, W., Xiao, C., Wang, F., Chen, B., Wang, K., & Li, S. (2013). Estimation of Wheat Agronomic Parameters using New Spectral Indices. *PLoS ONE*, 8(8), e72736. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072736>
- Kochubey, S. M., & Kazantsev, T. A. (2012). Derivative vegetation indices as a new approach in remote sensing of vegetation. *Frontiers of Earth Science*, 6(2), 188-195. <https://doi.org/10.1007/s11707-012-0325-z>
- Liang, S. (2005). *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. John Wiley & Sons.
- Loayza, H. M. L. (2012). *Modelamiento y simulación de la fotosíntesis de plantas de papa, basados en el estudio de la radiación solar y los parámetros fisiológicos del cultivo*.
- Main, R., Cho, M. A., Mathieu, R., O'Kennedy, M. M., Ramoelo, A., & Koch, S. (2011). An investigation into robust spectral indices for leaf chlorophyll estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(6), 751-761. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.08.001>

- Meroni, M., & Colombo, R. (2006). Leaf level detection of solar induced chlorophyll fluorescence by means of a subnanometer resolution spectroradiometer. *Remote Sensing of Environment*, 103(4), 438-448.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.03.016>
- Owen, A. J. (2000). *Uses of Derivative Spectroscopy*.
- Pereda, M., Alex, Moncada, S., Wilmer, & Verde, L. (2018). *Respuesta nival de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta de Ayacucho, 978-620-2-12620-5, 6202126205 ,9786202126205 por Alex Miguel Pereda Medina, Wilmer Moncada Sosa, Lidia Verde*.  
<https://www.morebooks.shop/store/es/book/respuesta-nival-de-la-cabecera-de-cuenca-cachi-apacheta-de-ayacucho/isbn/978-620-2-12620-5>
- Pérez, C., & Muñoz, A. L. (2006). *Teledetección: Nociones y Aplicaciones*. 378.
- Petisco, C., García Criado, B., Vázquez de Aldana, B. R., Zabalgoceazcoa, I., García Criado, L., & García Ciudad, A. (2004). *Estimación rápida de clorofila en hojas frescas de alfalfa mediante NIRS usando sonda de fibra óptica*. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.  
<https://digital.csic.es/handle/10261/28848>
- Ruz, A., & Ignacio, T. (2015). *Firmas espectrales de vegetación urbana en Santiago de Chile: Caracterización y separabilidad de especies a escala foliar*.  
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150870>
- Sobrino, J. (2000). *TELEDETECCION*.
- Soca, F. R. (2017). *Correccion Atmosferica SMAC para Imagenes del Sensor OLI del Satelite Landsat-8*. Universidad Nacional San Cristobal De Huamanga.
- Steele, M., Gitelson, A. A., & Rundquist, D. (2008). Nondestructive Estimation of Leaf Chlorophyll Content in Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3), 299-305.
- Thomas, J. R., & Gausman, H. W. (1977). Leaf Reflectance vs. Leaf Chlorophyll and Carotenoid Concentrations for Eight Crops<sup>1</sup>. *Agronomy Journal*, 69(5), 799.  
<https://doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900050017x>
- Tin, H. C., O'Leary, M., Fotedar, R., & Garcia, R. (2015). Spectral response of marine submerged aquatic vegetation: A case study in Western Australia coast. *OCEANS 2015 - MTS/IEEE Washington*, 1-5.  
<https://doi.org/10.23919/OCEANS.2015.7404388>

# ANEXOS

## ANEXO 1. Matriz de consistencia

Estimación del índice de vegetación y clorofila del frijol (*Phaseolus vulgaris*) a partir de la reflectancia medida con el espectroradiómetro fieldspec4, durante su crecimiento.

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Métodos	Técnicas e instrumentos
¿En qué medida el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de clorofila ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), se estima a partir de los valores de reflectancia de la firma espectral con el espectroradiómetro FieldSpec4, en distintas etapas de crecimiento?	Estimar los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y de clorofila del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), a partir de los valores de reflectancia de su firma espectral con el espectroradiómetro FieldSpec4, en distintas etapas de crecimiento.	Los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y de clorofila del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), se estiman de manera significativa a partir de los valores de reflectancia de su firma espectral con el espectroradiómetro FieldSpec4, en distintas etapas de crecimiento.	Reflectancia de la firma espectral  <b>Indicadores:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longitud de onda</li> <li>● Firma espectral del frijol</li> </ul>	<b>Tipo de Investigación</b> Aplicada  <b>Diseño de Investigación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● No experimental</li> <li>● Transversal</li> </ul>	<b>Técnicas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Observación</li> <li>● Recolección y Análisis de datos con software Matlab.</li> <li>● Análisis en hoja de cálculo</li> </ul>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos	Variable dependiente	<b>Método de Investigación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Cualitativo y cuantitativo</li> </ul> <b>Nivel de Investigación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Descriptivo</li> <li>● Explicativo</li> </ul>	<b>Instrumentos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Espectroradiómetro Field Spec4.</li> </ul> <b>Fuentes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Libros y textos especializados.</li> <li>● Página web.</li> <li>● Revistas científicas</li> <li>● Catálogos virtuales.</li> </ul>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuáles son las firmas espectrales del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) durante distintas etapas de su crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4?</li> <li>2. ¿En qué medida el índice de clorofila del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>), se estima a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en distintas etapas de crecimiento?</li> <li>3. ¿En qué medida el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) se estima a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento?</li> <li>4. ¿Cómo es la correlación entre el índice de clorofila con respecto al índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>), en sus distintas etapas de crecimiento?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar las firmas espectrales del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) durante las distintas etapas de crecimiento, medidas con el espectroradiómetro FieldSpec4.</li> <li>2. Estima el índice de clorofila del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>), a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en distintas etapas de crecimiento.</li> <li>3. Estimar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento.</li> <li>4. Correlacionar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con respecto al índice de clorofila del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>), en sus distintas etapas de crecimiento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las firmas espectrales del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) se determina de manera significativa durante las distintas etapas de crecimiento, cuando se miden con el espectroradiómetro FieldSpec4.</li> <li>2. El índice de clorofila del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>), se estima de manera significativa a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en distintas etapas de crecimiento.</li> <li>3. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) se estima de manera significativa a partir de los valores de reflectancia de sus firmas espectrales, en sus distintas etapas de crecimiento.</li> <li>4. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se correlaciona de manera directamente proporcional con respecto al índice de clorofila frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>), en sus distintas etapas de crecimiento.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Índice de clorofila y de vegetación de diferencia normalizada</li> </ul> <b>Indicadores:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Índice de clorofila</li> <li>● Índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI)</li> </ul>		