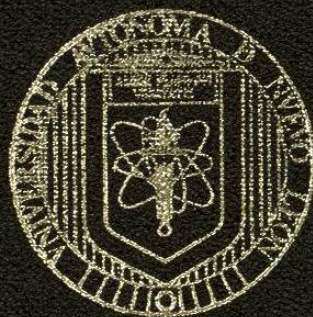


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ESTABLECIMIENTO DE NORMAS DRIS,
DIAGNOSTICO NUTRICIONAL Y CALIBRACION
DE LAS NORMAS OBTENIDAS PARA
EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)
EN COAHUILA Y NUEVO LEON.

POR

SERGIO JAVIER GARCIA GARZA

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
CON ESPECIALIDAD EN AGUA-SUELO

MARIN, N. L.

FEBRERO DE 2000

TD

Z5071

FA

2000

.G372



1020150639

1020150639

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

**FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**ESTABLECIMIENTO DE NORMAS DRIS.
DIAGNOSTICO NUTRICIONAL Y CALIBRACION
DE LAS NORMAS OBTENIDAS PARA
EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.
EN COAHUILA Y NUEVO LEON**

POR

SERGIO JAVIER GARCIA GARZA

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
CON ESPECIALIDAD EN AGUA-SUELO**

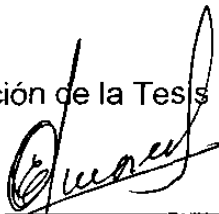
MARIN N. L.

FEBRERO DE 2000

F L O
E S S

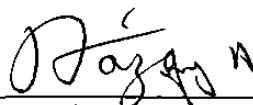
**ESTABLECIMIENTO DE NORMAS DRIS, DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL Y
CALIBRACIÓN DE LAS NORMAS OBTENIDAS PARA EL CULTIVO DE PAPA
(Solanum tuberosum L.) EN COAHUILA Y NUEVO LEÓN.**

Aprobación de la Tesis



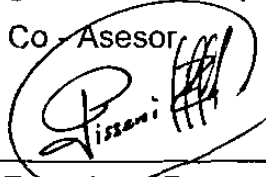
Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Asesor principal

Ph. D. Oswaldo Rubio Covarrubias
Co – Asesor Externo

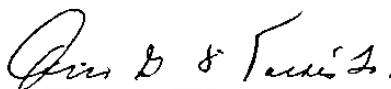


Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Co – Asesor

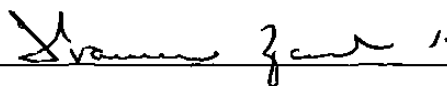
Co – Asesor



Dr. Juan Francisco Pissani Zuñiga
Co – Asesor



Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano
Co – Asesor



Ph. D. Francisco Zavala García

Subdirector de Estudios de Postgrado de la Facultad de Agronomía
Universidad Autónoma de Nuevo León.

Marín, N L. Febrero de 2000

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso

Por su gran amor, misericordia, fidelidad y perdón, por sustentar mis pasos en su camino, iluminar mi vida por el sendero del saber y concederme la petición de terminar una meta más en mi vida

Con todo mi amor para mi esposa Tere

Por ser la ayuda idónea, ya que siempre me ha dado su comprensión, amor y apoyo en los momentos difíciles, por impulsarme a continuar mis estudios en la búsqueda común de mejores tiempos y por que comparta como suyos los logros que hemos tenido.

También con todo mi amor para mi preciosa hija Lucero

Ha quien he privado de mi presencia en momentos importantes de su vida, sin embargo espero que este esfuerzo de superación sea de ejemplo para ella.

A mis padres Felix y Ma. Del Socorro

Por la bendición de tenerlos, por su siempre apoyo, digno ejemplo y la confianza depositada para seguir adelante en mis estudios.

A mis hermanos:

Pablo y Ma. Guadalupe, Juan Antonio y Choco, Juan Carlos y Lily, Victor y Cyntia, Enrique y Margarita y Felix (q.e.p.d.) por sus estímulos y apoyos que siempre me han brindado.

A mi suegra Tere:

Por su ayuda incondicional y el amor y protección que siempre la ha dado a mi hija.

A mis cuñadas y concuños:

Paty y Lalo y Mary y Sergio por el cariño y amistad demostrada.

A mis sobrinos:

Pablo Sergio, Luis Arturo, Samuel, Miriam, Iram, Karla, Keifa, Gaby, Juan Carlitos, Lalito y Uriel.

A mis "compadres":

Romeo y Adriana, Mario y Julia y Carlos y Charis por la amistad y gratos momentos que hemos compartido.

A los matrimonios:

Oscar y Elva, Luis Carlos y Claudia, Jaime y Olga, Salo y Luz, Oswaldo e Irma, Daniel y Aracely, Hector y Chris, Lorenzo y Nancy, Carlos y Fanny, Israel y Sofia por la sincera amistad que tenemos y la gran familia que hemos formado.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), por otorgarme las facilidades tanto en tiempo, como económicas para la realización de mis estudios de doctorado.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por abrirme sus puertas y los conocimientos adquiridos en ella.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo de la Beca Crédito otorgada para la obtención del grado.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz, por la excelente dirección de este trabajo de tesis, su gran apoyo y el tiempo dedicado a la presente investigación, sus conocimientos heredados y sobre todo por su amistad compartida.

Al Dr. Oswaldo Rubio Covarrubias, por su rectitud e integridad profesional, su apoyo al presente trabajo y sus experiencias transmitidas acerca del tema de tesis.

Al Dr. Rigoberto Vázquez Alvarado, por su entusiasta participación en el trabajo de tesis y constante apoyo, así como sus conocimientos transmitidos como maestro y asesor.

Al Dr. Juan Francisco Pissani Zuñiga, por sus comentarios oportunos del manuscrito de tesis y sus invaluable consejos.

Al Dr. Ciro G. S. Valdés Lozano, por la asesoría brindada y sus interesantes y acertadas correcciones al manuscrito.

Al Dr. Valdemar González Reyna Jefe del Campo Experimental Saltillo, por apoyarme en iniciar mis estudios de doctorado y facilitar todo lo necesario para realizar la investigación.

Al Dr. Ignacio Del Real Laborde Gerente Regional de Fundación Produce Coahuila, por las facilidades para financiar el proyecto de investigación, así como su amistad demostrada.

Al personal científico y administrativo del Campo Experimental Saltillo, por su apoyo moral, especialmente a los Maestros en Ciencias: Carlos Ríos, Antonio Cano y Edith Villavicencio, por la amistad que hemos compartido

A mis compañeros y amigos en el Postgrado: Mario Dena, José Hernández, Neftalí Gómez, J. Manuel Huerta, Ismael Mata, Javier Cortés, Luis Carlos Rimoldi, Juan Carlos Rodríguez C., Elías Treviño, Mario Madrigal, José Butrón, Juan Carlos Rodríguez O., Rafael Zuñiga, Noe y Elvia Flores, Wilder y Nidia Camacho, Cristian y Toñita, y en especial a Mario Cruz, Jose Luis Lara, Jose Verastegui, Jose Luis Woo e Hilario Charcas por la amistad que logramos cultivar.

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Sergio Javier García Garza

Candidato para el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas con Especialidad en Agua - Suelo.

Tesis:

Establecimiento de normas DRIS, diagnóstico nutricional y calibración de las normas obtenidas para el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en Coahuila y Nuevo León.

Areas de estudio

Agronomía (Nutrición Vegetal).

Biografía

Nacido el 7 de Octubre de 1962 en Saltillo, Coahuila México.

Educación

Egresado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro como Ingeniero Agrónomo en Suelos, en Diciembre de 1983.

Egresado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro como Maestro en Ciencias con especialidad en Suelos, en Junio de 1989.

Experiencia Profesional

Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Campo Experimental Zaragoza de 1984-1991 y Campo Experimental Saltillo de 1992- a la fecha.

Otros

Mención Honorífica Tesis de Maestría. UAAAN.

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores como Candidato a Investigador Nacional. 1990-1993.

Responsable de 17 Proyectos de Investigación.

Asesor externo de 2 tesis de Licenciatura y 1 de Maestría.

Participación en Congresos Nacionales como Ponente de 16 Investigaciones.

Miembro de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

Miembro de la Sociedad Mexicana de Fitogenética.

INDICE DEL CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE CUADROS EN EL APÉNDICE	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE FIGURAS EN EL APÉNDICE	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	2
1.2. Objetivos	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Generalidades del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)	4
2.2. Establecimiento de normas DRIS	5
2.3. Desarrollo de normas DRIS en el cultivo de papa	6
2.4. Calibración de las normas DRIS	7
2.5. Análisis foliares	7
2.6. Importancia del balance nutricional en la planta	8
2.7. Interacción entre nutrimentos	9
2.8. Diagnóstico nutricional en papa	10
2.9. Nutrición del cultivo de papa	11
2.9.1. Nitrógeno	12
2.9.2. Fósforo	14
2.9.3. Potasio	16
2.9.4. Calcio	17
2.9.5. Magnesio	18
2.9.6. Microelementos	19
2.9.7. Hierro	19
2.9.8. Manganeso	20
2.9.9. Zinc	21
2.9.10. Cobre	22
2.9.11. Boro	23
3. MATERIALES Y METODOS	24
3.1 Establecimiento de las normas DRIS	24
3.1.1. Localización de las áreas de muestreo	24
3.1.2. Colección de muestras foliares	24
3.1.3. Número de muestras foliares por municipio, localidad y ciclo agrícola	24
3.1.4. Preparación de muestras foliares	26
3.1.5. Análisis de muestras foliares	26
3.1.6. Estimación de rendimiento comercial	27
3.1.7. Metodología para el establecimiento de las normas DRIS	27
3.1.8. Procedimiento utilizado para la obtención de las normas DRIS	27

3.2 Diagnóstico nutricional regional	28
3.2.1 Datos y métodos utilizados	28
3.2.2 Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio del Análisis de Varianza	28
3.2.3 Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio de Correlación Simple	29
3.2.4. Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio de Componentes Principales	29
3.2.5. Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio de Rangos de Suficiencia	30
3.2.6 Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio del DRIS	30
3.2.6.1. Programa computacional para el cálculo de índices DRIS	33
3.3. Calibración de las normas DRIS	33
3.3.1. Localización del experimento	33
3.3.2. Preparación del terreno	33
3.3.3. Fecha de siembra y variedad utilizada	33
3.3.4. Densidad de siembra	33
3.3.5. Tratamientos de fertilización evaluados	34
3.3.6. Aplicación de fertilizantes	34
3.3.7. Diseño experimental	34
3.3.8. Parcela experimental	34
3.3.9. Muestreo foliar	35
3.3.10. Colección de muestras foliares	35
3.3.11. Preparación de muestras foliares	35
3.3.12. Análisis de muestras foliares	35
3.3.13. Cosecha del experimento	35
3.3.14. Cálculo de índices DRIS	36
3.3.15. Utilización de otros datos experimentales	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1 Establecimiento de las normas DRIS	39
4.1.1. Ciclo P-V 1996	39
4.1.2. Ciclo P-V 1997	41
4.1.3. Análisis total de los dos ciclos	41
4.1.4. Comparación de las normas DRIS con otras normas DRIS desarrolladas para papa	45
4.2 Diagnóstico nutricional regional	47
4.2.1. Diagnóstico nutricional por medio del Análisis de Varianza	47
4.2.1.1. Ciclo P-V 1996	47
4.2.1.2. Ciclo P-V 1997	49
4.2.1.3. Análisis total de los dos ciclos	51
4.2.2. Diagnóstico nutricional por medio de Correlación Simple	53
4.2.2.1 Ciclo P-V 1996	53
4.2.2.2 Ciclo P-V 1997	55
4.2.2.3 Análisis total de los dos ciclos	55
4.2.3 Diagnóstico nutricional por medio de Componentes Principales	58

4.2.3.1. Ciclo P-V 1996	58
4.2.3.2. Ciclo P-V 1997	59
4.2.3.3. Análisis total de los dos ciclos	60
4.2.4. Diagnóstico nutricional por medio de Rangos de Suficiencia	61
4.2.4.1. Ciclo P-V 1996 (Reuter y Robinson, 1986)	61
4.2.4.2. Ciclo P-V 1996 (Walwort y Muñiz, 1993)	62
4.2.4.3. Ciclo P-V 1997 (Reuter y Robinson, 1986)	63
4.2.4.4. Ciclo P-V 1997 (Walwort y Muñiz, 1993)	64
4.2.4.5. Análisis total de los dos ciclos (Reuter y Robinson, 1986)	65
4.2.4.6. Análisis total de los dos ciclos (Walwort y Muñiz, 1993)	66
4.2.5 Diagnóstico nutricional por medio del DRIS	68
4.2.5.1. Ciclo P-V 1996	68
4.2.5.2. Ciclo P-V 1997	71
4.2.5.3. Análisis total de los dos ciclos	73
4.2.6. Discusión sobre el diagnóstico nutricional regional por diferentes métodos	75
4.3. Calibración de las normas DRIS (Ciclo P-V 1998)	78
4.3.1. Análisis de varianza del rendimiento comercial	78
4.3.2. Muestreo foliar	81
4.3.3. Utilización de otros datos experimentales	84
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
6. LITERATURA CITADA	92
7. APÉNDICE	96

LISTA DE CUADROS

	Página	
Cuadro 1	Número de muestras por municipio, localidad y ciclo agrícola.	26
Cuadro 2	Tratamientos evaluados en el experimento calibración de normas DRIS en papa. Ciclo P-V1998.	34
Cuadro 3	Medias de concentración en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrimentos en población de altos rendimientos (Mayor o igual a 40 Ton/ha). Ciclo P-V 1996.	40
Cuadro 4	Medias de concentración en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrimentos en población de altos rendimientos (Mayor o igual a 40 Ton/ha). Ciclo P-V 1997.	43
Cuadro 5	Medias de concentración en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrimentos en población de altos rendimientos (Mayor o igual a 40 Ton/ha). Análisis total dos ciclos P-V 1996 y 1997.	44
Cuadro 6	Medias y coeficientes de variación de las formas de expresión de nutrimentos para el cultivo de papa, establecidas por diferentes autores.	46
Cuadro 7	Nivel de significancia observado (p) en el análisis de varianza y medias de concentración de los diferentes nutrimentos evaluados en poblaciones de altos y bajos rendimientos. Ciclo P-V 1996.	48
Cuadro 8	Relaciones significativas y medias de concentración de las mismas para poblaciones de altos y bajos rendimientos. Ciclo P-V 1996.	49
Cuadro 9	Nivel de significancia observado (p) en el análisis de varianza y medias de concentración de los diferentes nutrimentos evaluados en poblaciones de altos y bajos rendimientos. Ciclo P-V 1997	50

Cuadro 10	Relaciones significativas y medias de concentración de las mismas para poblaciones de altos y bajos rendimientos. Ciclo P-V 1997.	50
Cuadro 11	Nivel de significancia observado (p) en el análisis de varianza y medias de concentración de los diferentes nutrimentos evaluados en poblaciones de altos y bajos rendimientos. Análisis total dos ciclos P-V 1996 y 1997.	51
Cuadro 12	Relaciones significativas y medias de concentración de las mismas para poblaciones de altos y bajos rendimientos. Análisis total dos ciclos P-V 1996 y 1997.	52
Cuadro 13	Coefficientes de correlación entre el rendimiento y la concentración de nutrimentos en hojas de papa. Ciclos P-V 1996, P-V 1997 y análisis total de los dos ciclos.	53
Cuadro 14	Coefficientes de correlación y valores de p entre nutrimentos. Ciclo P-V 1996.	54
Cuadro 15	Coefficientes de correlación y valores de p entre nutrimentos. Ciclo P-V 1997.	56
Cuadro 16	Coefficientes de correlación y valores de p entre nutrimentos. Análisis total de los dos ciclos.	57
Cuadro 17	Coefficientes de correlación entre los componentes principales y las concentraciones de nutrimentos en hojas de papa, coeficientes de regresión y nivel de significancia que explican la relación entre los componentes principales y el rendimiento. Ciclo P-V 1996.	59
Cuadro 18	Coefficientes de correlación entre los componentes principales y las concentraciones de nutrimentos en hojas de papa, coeficientes de regresión y nivel de significancia que explican la relación entre los componentes principales y el rendimiento. Ciclo P-V 1997.	60
Cuadro 19	Coefficientes de correlación entre los componentes principales y las concentraciones de nutrimentos en hojas de papa, coeficientes de regresión y nivel de significancia que explican la relación entre los componentes principales y el rendimiento. Análisis total de los ciclos.	61

Cuadro 20	Número de muestras con concentraciones bajas, adecuadas y altas para cada nutrimento de acuerdo a los rangos de suficiencia para papa, establecidos por Reuter y Robinson (1986) Ciclo P-V 1996	62
Cuadro 21	Número de muestras con concentraciones bajas, adecuadas y altas para cada nutrimento de acuerdo a los rangos de suficiencia para papa, establecidos por Walmort y Muñiz (1993). Ciclo P-V 1996.	63
Cuadro 22	Número de muestras con concentraciones bajas, adecuadas y altas para cada nutrimento de acuerdo a los rangos de suficiencia para papa, establecidos por Reuter y Robinson (1986). Ciclo P-V 1997.	64
Cuadro 23	Número de muestras con concentraciones bajas, adecuadas y altas para cada nutrimento de acuerdo a los rangos de suficiencia para papa, establecidos por Walmort y Muñiz (1993). Ciclo P-V 1997.	65
Cuadro 24	Número de muestras con concentraciones bajas, adecuadas y altas para cada nutrimento de acuerdo a los rangos de suficiencia para papa, establecidos por Reuter y Robinson (1986). Análisis total de los dos ciclos.	66
Cuadro 25	Número de muestras con concentraciones bajas, adecuadas y altas para cada nutrimento de acuerdo a los rangos de suficiencia para papa, establecidos por Walmort y Muñiz (1993). Análisis total de los dos ciclos.	67
Cuadro 26	Número de muestras del total de 72 con deficiencia y exceso relativo de acuerdo al orden de requerimiento para cada muestra. Ciclo P-V 1996.	70
Cuadro 27	Número de muestras del total de 70 con deficiencia y exceso relativo de acuerdo al orden de requerimiento para cada muestra. Ciclo P-V 1997.	72
Cuadro 28	Número de muestras del total de 142 con deficiencia y exceso relativo de acuerdo al orden de requerimiento para cada muestra. Análisis total de los dos ciclos.	74
Cuadro 29	Resumen del diagnóstico nutricional regional utilizando el Análisis de Varianza, Correlación Simple, Componentes Principales, Rangos de Suficiencia y DRIS, para cada ciclo y análisis total de los dos ciclos.	76

Cuadro 30	Medias de rendimiento comercial (Ton/ha), para cada uno de los tratamientos de fertilización evaluados.	79
Cuadro 31	Análisis de varianza de los resultados de la variable rendimiento comercial.	79
Cuadro 32	Concentración foliar de N, P, K, índices DRIS, orden de requerimiento nutricional, índices de desbalance nutricional (IDN) y rendimientos obtenidos en los tratamientos con las dosis de fertilización, para el muestreo foliar. Ciclo P-V 1998.	82
Cuadro 33	Significancia estadística de las medias de rendimiento e índices de N para cada uno de los tratamientos agrupados.	83
Cuadro 34	Concentración foliar de N, P, K, índices DRIS, orden de requerimiento nutricional y rendimientos obtenidos en los tratamientos con las dosis de fertilización iniciales, para el muestreo foliar. Ciclo P-V 1988.	85
Cuadro 35	Efecto de la segunda fertilización, relacionada con la predicción realizada por el DRIS. Ciclo P-V 1988.	86
Cuadro 36	Concentración foliar de N, P, K y diagnóstico nutricional por medio de Rangos de Suficiencia, obtenidos en los tratamientos con las dosis de fertilización iniciales, para el muestreo foliar. Ciclo P-V 1988.	88

LISTA DE CUADROS EN EL APENDICE

	Página
Cuadro 1A Lista de tratamientos evaluados en el experimento con dosis iniciales y finales de fertilización. Ciclo P-V 1988.	96
Cuadro 2A Concentración de nutrimentos, índices DRIS, orden de requerimiento nutricional, IDN y rendimiento para cada una de las muestras tomadas en el ciclo P-V 1996.	97
Cuadro 3A Concentración de nutrimentos, índices DRIS, orden de requerimiento nutricional, IDN y rendimiento para cada una de las muestras tomadas en el ciclo P-V 1997.	99

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Ubicación de las áreas de muestreo donde se desarrolló la investigación.	25
Figura 2 Distribución de los tratamientos evaluados y rendimiento (Ton/ha) para cada uno de ellos en el experimento calibración de las normas DRIS. Ciclo P-V 1998.	80

LISTA DE FIGURAS EN EL APENDICE

	Página
Figura 1A Regresión lineal simple entre las variables rendimiento e IDN. Ciclo P-V 1996.	101
Figura 2A Regresión lineal simple entre las variables rendimiento e IDN. Ciclo P-V 1997.	102
Figura 3A Regresión lineal simple entre las variables rendimiento e IDN. Análisis total dos ciclos.	103
Figura 4A Regresión lineal simple entre las variables rendimiento e IDN. Ciclo P-V 1998.	104

RESUMEN

Sergio Javier García Garza

Fecha de Graduación: Febrero 2000

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Título del estudio: Establecimiento de normas DRIS, diagnóstico nutricional y calibración de las normas obtenidas para el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en Coahuila y Nuevo León.

Número de páginas: 104

**Candidato para el grado de Doctor en Ciencias
Agrícolas con Especialidad en Agua-Suelo**

Areas de estudio: Agronomía (Nutrición vegetal).

Propósitos y métodos de estudio: La zona papera de Coahuila y Nuevo León, no cuenta con las normas de concentración adecuadas de nutrimentos para el cultivo de papa de acuerdo al clima y suelo de la región. Los propósitos de la investigación fueron: establecer las normas DRIS, realizar un diagnóstico nutricional regional por diferentes métodos y calibrar dichas normas en un experimento de fertilización. Para ello se tomaron y se analizaron 142 muestras foliares durante el ciclo P-V 1996 y 1997, en la etapa de inicio de tuberización del cultivo; también se estimó el rendimiento comercial en cada uno de los lotes donde se tomaron las muestras. El diagnóstico nutricional se realizó por medio de análisis de varianza, correlación simple, componentes principales, rangos de suficiencia y el método DRIS. Posteriormente se estableció un experimento de Fertilización en el ciclo P-V 1998, con el propósito de confirmar las normas obtenidas, sobre el comportamiento de la papa por medio de los índices DRIS.

Contribuciones y conclusiones: Se establecieron las normas DRIS para N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B en el cultivo de papa. El diagnóstico nutricional realizado por medio del DRIS fue el más completo y preciso comparado con los otros métodos utilizados. Dicho diagnóstico indicó que concentraciones bajas de N, P, K, Fe y Mn, así como altas de Ca, Cu, Mg, Zn y B pudieran estar limitando el rendimiento del cultivo en la región. El orden de requerimiento nutricional fue: P>N>Mn>Fe>K>Ca>Cu>Mg>Zn>B. Los índices DRIS fueron capaces de predecir el comportamiento del cultivo de papa en un experimento de fertilización, por lo tanto se confirmaron las normas DRIS obtenidas.

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL :

SUMMARY

Sergio Javier García Garza

Graduation: February 2000

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Agronomía

Title of research work: Establishment of DRIS norms, nutritional diagnosis and calibration of obtained norms for potato crop (Solanum tuberosum L.) in Coahuila and Nuevo Leon Mexico.

Number of pages : 104

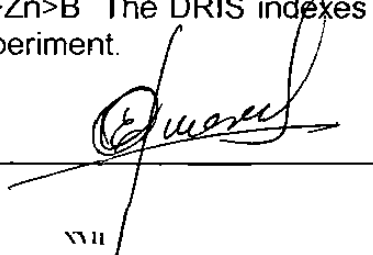
Candidate to obtain the Doctor in Agricultural Sciences degree. Water and Soil Sciences.

Subjects of the research work: Agronomy (Plant Nutrition).

Aims and methods of the research work: At the present time the potato area of Coahuila and Nuevo León requires adequate DRIS norms for the potato crop in accordance to weather and soil. The aims of this research were: to establish DRIS norms, to obtain nutritional diagnosis for different methods and to calibrate the DRIS norms. During the Spring-Summer cycle 1996 and 1997, one hundred forty two leaf samples in early tuberization stage were taken and analyzed. The yield was also estimated. The DRIS norms were obtained and nutritional diagnosis were carried out using analysis of variance, simple correlation, principal components analysis, sufficiency ranks and DRIS method. A fertilization experiment was established in the Spring-Summer 1998 cycle with the aim of verify the DRIS norms.

Contributions and conclusions: DRIS norms were obtained for N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu and B in the potato crop. The DRIS method was better than analysis of variance, simple correlation, principal component analysis and sufficiency ranks to make nutritional diagnosis. The nutritional diagnosis indicated that low concentrations of N, P, K, Fe and Mn; and high concentrations of Ca, Mg, Zn, Cu and B may restrict potato yield. The estimated nutritional required order was: P>N>Mn>Fe>K>Ca>Cu>Mg>Zn>B. The DRIS indexes were able to predict potato behavior in a fertilization experiment.

MAIN ADVISOR SIGNATURE



vii

1. INTRODUCCIÓN

En la región Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León, el cultivo de la papa es de gran importancia económica y social ya que se siembran alrededor de 5,000 has anuales de este tubérculo y se generan 390,000 jornales por ciclo, con un rendimiento medio de 30 ton/ha.

Dentro de los factores que limitan la producción y calidad del cultivo, se encuentra la nutrición mineral debido principalmente a los suelos característicos de la región, ya que son de naturaleza calcárea, pH alcalino y bajos en materia orgánica, condiciones que limitan la disponibilidad de algunos nutrimentos.

Dadas las condiciones anteriormente expuestas, los productores de la zona generalmente fertilizan en cantidades excesivas con N, P y K, lo cual repercute considerablemente en el incremento de los costos de producción. Aunado a esto los agricultores no utilizan el análisis foliar como herramienta de diagnóstico para predecir las necesidades nutrimentales de este cultivo; los pocos productores que utilizan esta herramienta, basan la interpretación de sus análisis en valores críticos de concentraciones foliares determinadas en otros lugares del mundo, ya que no se cuenta con las normas regionales adecuadas al clima y suelo de la región papera de Coahuila y Nuevo León.

La metodología clásica para estimar deficiencias nutricionales en los cultivos utilizando análisis foliares es basada en comparaciones de la concentración foliar de nutrimentos en la muestra contra un valor crítico o rango de suficiencia. Sin embargo la concentración de nutrimentos en las hojas depende de varios factores como etapa fenológica, posición de la hoja en la planta, variedad del cultivo, etc.

Con la finalidad de eliminar las limitantes señaladas, Beaufils (1973) desarrolló el método denominado Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), el cuál consta de un conjunto de normas que hacen un diagnóstico más completo, ya que clasifica en orden de importancia los nutrimentos que requiere la planta, toma en cuenta su interacción, el balance nutrimental y detecta deficiencias y excesos relativos, además puede realizar diagnósticos en cualquier etapa de desarrollo y diferente posición de la hoja en la planta.

Cuando el sistema DRIS se compara contra una técnica convencional, como es la de valor crítico o rango de suficiencia, el DRIS presenta mayores ventajas ya que este es independiente de la edad, condiciones de clima, suelo, prácticas culturales, porción y posición de la hoja muestreada (Escano, et al., 1981) de tal manera que el valor crítico es ineficiente para diagnosticar el estado nutricional de la planta, en cualquier condición y época (Sumner, 1979).

En el cultivo de papa se han desarrollado las normas DRIS en diferentes partes del mundo, entre las que se encuentran Meldal y Sumner (1980) en la provincia de Natal en Sudáfrica, Mackay et al., (1987) en Canadá y Navvabzdeh y Malakouti (1993) en un suelo calcáreo de Iran. Sin embargo, las normas difieren considerablemente, por lo cual es necesario generar normas locales de acuerdo a las condiciones de suelo y clima de la región (Walworth y Sumner, 1987).

Tomando en cuenta la información presentada anteriormente, se plantearon las siguientes hipótesis y objetivos:

1.1. Hipótesis

i) Por medio de las normas DRIS es posible diagnosticar la nutrición de cultivos, por lo tanto podrán ser utilizadas para detectar deficiencias o excesos nutricionales en el cultivo de papa, por medio de los análisis foliares.

ii) Los suelos de la región papera de Coahuila y Nuevo León son deficientes en N y P, por lo tanto un diagnóstico nutricional utilizando diferentes métodos, determinaran la deficiencia de estos y otros elementos nutritivos que limitan el rendimiento del cultivo de papa en la región.

iii) Los índices DRIS son capaces de predecir el patrón de comportamiento de un cultivo en un experimento de fertilización, por lo tanto, se podrá comprobar la precisión de las normas DRIS establecidas.

1.2. Objetivos

i) Establecer las normas DRIS, para diagnosticar adecuadamente deficiencias y excesos nutricionales en el cultivo de papa usando los análisis foliares.

ii) Realizar un diagnóstico nutricional regional por diferentes métodos para el cultivo de papa, determinando los elementos nutritivos que limitan su rendimiento.

iii) Comprobar la precisión del diagnóstico nutricional realizado con las normas DRIS establecidas, a través de un experimento de fertilización.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)

Beaufils (1973), desarrolló el método denominado Diagnóstico Fisiológico, ahora conocido como Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)

El DRIS se basa en la ley de Liebig o del mínimo, la cual establece que el rendimiento máximo posible es función directa del factor más limitante de acuerdo a las necesidades del cultivo, pero también se basa en la ley Mitscherlich o de los rendimientos decrecientes, misma que se fundamenta en que el rendimiento puede incrementarse por efecto de cada uno de los factores, siempre y cuando no estén presentes en sus niveles subóptimos o mínimos (Sumner y Farina, 1986).

El DRIS representa una técnica o método holístico y, de hecho, se constituye por un grupo integrado de normas (valores de referencia) representativas de parámetros del vegetal, suelo, clima y prácticas de manejo. Sin embargo, Beaufils, Sumner y colaboradores de ambos se han limitado, casi exclusivamente, a perfeccionar el método en base a composición foliar porque consideran que la planta es el integrador de los efectos de su ambiente (Sumner y Boswell, 1981).

Dentro de las técnicas para hacer diagnósticos nutrimentales en planta, por medio de análisis foliares, se ha utilizado más comúnmente el método que se basa en un valor crítico, o sea la concentración de un elemento en una determinada parte de la planta y estado de desarrollo, abajo del cuál el rendimiento es afectado negativamente. Otro método, que ha surgido de la necesidad de obtener mayor precisión, es el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) propuesto por Beaufils (1973). Sumner (1979) comparó los dos métodos utilizando los datos de campo de experimentos con maíz, soya, azúcar y papa publicado por

diferentes autores y concluyó que el DRIS es superior ya que permite minimizar las variaciones debidas a la edad de los tejidos, posición de las hojas muestreadas, variedades y además toma en cuenta las relaciones entre nutrimentos.

2.2. Establecimiento de normas DRIS

El DRIS como sistema de diagnóstico foliar, tiene como primer paso el establecimiento de valores estándar o normas DRIS.

Para desarrollar las normas DRIS de una región, se utiliza una muestra representativa de un gran número de sitios al azar, que pueden ser campos comerciales y/o parcelas experimentales bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. Se toman muestras de hojas para su análisis y el rendimiento (Sumner, 1986). Las normas basadas en un banco de datos grande, son probablemente más representativas, ya que abarcan un amplio espectro de variabilidad en la población (Letzsch, 1984).

La población se divide en dos grupos: uno correspondiente a altos rendimientos y el otro a bajos. Letzsch y Sumner (1984), demostraron la poca importancia del tamaño de los grupos; pero Walworth y Sumner (1986), recomendaron que el punto de transición entre ambos grupos sea aproximadamente igual al rendimiento de los mejores productores.

El DRIS, se ha usado como una metodología de diagnóstico nutrimental en varios cultivos. Las normas DRIS son las medias de relaciones o formas de expresión de la composición del tejido foliar, con sus respectivas varianzas y coeficientes de variación, de una subpoblación de observaciones de alto rendimiento (Letzsch, 1985).

Las normas DRIS son relaciones de nutrimentos y constituye la media de una población de altos rendimientos con los cuales se calculan los índices DRIS, el orden de requerimientos y el Índice de Desbalance Nutricional de una muestra foliar (Walworth y Sumner, 1987).

Letzsch y Sumner (1984), indican que las mejores normas DRIS, son las que tienen un gran número de observaciones obtenidas al azar, con un límite alto de rendimiento para dividir las dos subpoblaciones (de bajo y alto rendimiento) y que tenga al menos un 10% de observaciones de alto rendimiento.

2.3. Desarrollo de normas DRIS en el cultivo de papa

En el cultivo de papa se han desarrollado normas DRIS en diferentes lugares del mundo, entre ellas se encuentran las de Meldal y Sumner (1980), Mackay et al. (1987) y Navvabzdeh y Malakouti (1993).

Meldal y Sumner (1980) establecieron las normas DRIS para N, P y K en hojas de papa. Las normas fueron desarrolladas de 745 series de datos por composición elemental de hoja y sus respectivas producciones de tubérculos en la provincia de Natal en Sudáfrica. La población total de observaciones fue dividida en dos subpoblaciones en base a su rendimiento; subpoblación A con rendimientos mayores de 42.5 ton/ha y subpoblación B con producciones menores de 42.5 ton/ha.

Mackay et al. (1987), determinaron las normas DRIS en papa para dos áreas de producción en Canadá con diferentes condiciones de suelo y clima. El valor para poblaciones de altos rendimientos en suelos Boreales fue de 40 ton/ha y para suelos Espodosoles fue 32 ton/ha. Dichos autores concluyeron que las normas publicadas para papa en suelos de Sudáfrica determinadas por Meldal y Sumner (1980) fueron completamente insatisfactorias para diagnosticar deficiencias en cualquiera de las dos regiones Canadienses.

Navvabzdeh y Malakouti (1993), desarrollaron las normas DRIS para papa en un suelo calcáreo de Irán. Las normas se establecieron con 50 observaciones para los elementos N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B. Las producciones se dividieron en dos: altas y bajas, usando como criterio de división 30 ton/ha.

2.4. Calibración de las normas DRIS

Sumner (1986), señala que para verificar si las normas DRIS establecidas son capaces de realizar diagnósticos válidos, es necesario probarlas con datos experimentales independientes, en donde la respuesta de rendimiento haya sido obtenida para un nutrimento particular bajo estudio. Si los índices son capaces de predecir el patrón de comportamiento observado en el experimento, resulta la confirmación de las normas.

Rubio (1990), comparó la precisión del diagnóstico *nutricional* hecho con las normas DRIS *propuestas por Meldad y Sumner en 1980* y el método de valores críticos en un experimento de fertilización en papa en la zona de Navidad, N.L.; concluyendo que las normas DRIS permitieron hacer un diagnóstico *nutricional* más *preciso*, basado en un muestreo foliar realizado en las primeras etapas de desarrollo de la planta, comparado con el método de valores críticos.

2.5. Análisis foliares

El análisis foliar es una herramienta para evaluar directamente el estado *nutricional* de las plantas y la efectividad de las prácticas de fertilización en uso e indirectamente la disponibilidad de nutrimentos por el suelo. Con esta técnica es posible medir la concentración total de un elemento o de una fracción. Cualquiera de estas dos mediciones sirve para diagnosticar y evaluar el estado *nutrimental* de los cultivos y el suelo. El análisis de plantas también se emplea como base para formular recomendaciones de fertilización (Etchevers, 1997).

El diagnóstico de estado nutricional de una planta se puede hacer con base en observaciones visuales de síntomas de deficiencia o de toxicidad, con base en análisis de suelos o con base en análisis del tejido vegetal, sin embargo, el análisis del tejido vegetal tiene la ventaja de medir el contenido total del nutrimento y no solamente la fracción denominada disponible como sucede en los análisis de suelo (Howeler, 1983).

En la actualidad la utilización de análisis foliares se ha constituido en una herramienta básica en estudios de nutrición, sin embargo su aplicación en cultivos anuales presenta mayores problemas que en cultivos perenes sobre todo por el acelerado desarrollo de los primeros. Lorenz y Tyler (1983), hacen notar que en cultivos de rápido desarrollo como la papa, pueden ocurrir cambios en la concentración de nutrimentos hasta de un 100 % en una semana.

2.6. Importancia del Balance Nutricional en la planta

El desarrollo tecnológico moderno, exige una apreciación integral del manejo de la nutrición en los cultivos agrícolas. Una parte de la integración se logra al calibrar los nutrimentos como funciones de producción. Es primordial considerar el balance nutricional con base a los requerimientos nutricionales de cada especie o cultivo en cuestión; el concepto de balance nutricional se fundamenta en que solo se dan crecimientos óptimos cuando se mantienen niveles o rangos adecuados de nutrimentos (Chan et al., 1985).

Sumner (1979), menciona que el balance de nutrimentos se puede establecer en un nivel bajo o alto; en el balance alto, la planta estará en condiciones de aprovechar más eficientemente otros recursos del ambiente; mientras que en un balance bajo, representará por si mismo el factor limitante de la producción.

Millar et al. (1982) mencionan que si se desea que un cultivo produzca buenos rendimientos, este deberá tener, entre otras cosas, un abastecimiento adecuado de todos los nutrimentos esenciales que la planta toma del suelo; no solamente se requiere que los elementos nutritivos estén presentes en forma tal que las plantas puedan utilizarlos sino que también debe de haber un balance entre ellos, de acuerdo con las cantidades que las plantas necesitan.

El DRIS analiza el balance nutricional y permite hacer diagnósticos a partir de análisis foliares, estableciendo el orden limitante de los nutrimentos (Sumner y Boswell, 1981).

2.7. Interacción entre nutrimentos

La interacción de nutrimentos ocurre cuando el abastecimiento de uno afecta la distribución o función de otro, así, dependiendo del abastecimiento del nutrimento, las interacciones pueden inducir deficiencias o toxicidad y pueden modificar la respuesta en crecimiento (Robson y Pitman, 1983).

Una de las bases del DRIS es considerar el uso de las relaciones de nutrimentos para el cálculo de los índices que reflejan deficiencias, excesos relativos ó balance adecuado. Jones (1981), menciona que la técnica DRIS se basa en varias suposiciones respecto a la forma en que el estado nutricional del tejido afecta el rendimiento del cultivo. Estas suposiciones se resumen como sigue:

a) Las relaciones de concentración de nutrimentos son, a menudo, mejores indicadores de deficiencias nutrimentales que aquellas concentraciones de un simple nutrimento.

b) Algunas relaciones de concentraciones de nutrimentos son más importantes que otras.

c) Los rendimientos máximos de un cultivo son alcanzables únicamente cuando los valores de una relación importante se aproxima a un valor óptimo, el cual es aproximadamente el valor medio de la relación de una población seleccionada altamente productiva.

Cepl (1992), utilizando el DRIS para papa en Alemania, concluyó que el rendimiento de tubérculos fue afectado por las relaciones de P:Mg, N:Mg, Ca:K, N:P y el producto de Ca y Mg, las normas calculadas para estos factores fueron 1.01, 12.14, 0.27, 12.13 y 0.74, respectivamente

Los efectos antagónicos y sinérgicos de algún nutriente en particular (en la planta) son ya reconocidos. De particular prominencia son las relaciones recíprocas entre los elementos K, Ca y Mg; aunque también han sido evidenciadas entre aniones y cationes, macronutrientes y micronutrientes y elementos esenciales y no esenciales (Clark, 1970).

Es importante considerar que la interacción entre nutrientes es uno de los factores que afectan al contenido y el estado nutricional de las plantas. Por ejemplo, la aplicación de P disminuye el contenido de Zn, la aplicación de K disminuye el contenido de Ca y Mg. Este antagonismo entre elementos también es muy notable en la absorción del Fe, Cu, Mn y Zn (Howeler, 1983)

2.8. Diagnóstico Nutricional en papa

Parent et al. (1994), usando la metodología del DRIS para el cultivo de papa en Canadá, diagnosticó que el N fue el nutriente más limitante en una población de altos rendimientos, mientras que el K fue para la población de bajos rendimientos.

Rubio (1989), realizó un diagnóstico nutricional por el método DRIS para N, P y K y comparó la influencia que tiene el factor nutrición respecto a otros factores

que también inciden en la producción en 22 lotes comerciales de papa en las regiones cercanas a Saltillo, Coahuila. Concluyendo que el factor daño por tizón tardío presentó el mayor índice de determinación con 74.7, le siguió el factor número de tallos por metro con 27.8 y después el índice de balance nutricional con 13.6, los índices de daño por falta de agua, malezas y heladas explicaron en menor proporción la variabilidad del rendimiento del cultivo. Con respecto al diagnóstico nutricional, estableció que el K fue el elemento más deficiente en el 68.2 % de las muestras, P en el 27.3 % y N en el 4.5 %.

2.9. Nutrición del cultivo de papa

Etchevers (1997) menciona que desde un punto de vista aplicado, la nutrición de cultivos proporciona herramientas útiles para controlar que todos los nutrientes que la planta necesita para su crecimiento estén, con anterioridad al establecimiento del cultivo, a su disposición en el suelo y en niveles suficientes, así como también proporciona elementos para asegurar que las concentraciones nutrimentales en la parte aérea, o en cualquier otro órgano de referencia, no sean inferiores a niveles de suficiencia establecidos previamente para estados fenológicos precisos. Estas herramientas también sirven para determinar que la relación de un nutriente respecto de otro no sea inadecuada en el tejido vegetal. Estados nutrimentales distintos del definido como ideal causan trastornos nutricionales que se traducen en alteraciones del crecimiento y afectan los rendimientos esperados.

La falta de un adecuado balance nutricional que considere al suelo, al agua y los agroquímicos aplicados a la planta de papa puede generar problemas de deficiencias y excesos de los nutrientes esenciales, lo que produce, rendimientos reducidos, pobre calidad de tubérculos cosechados, mayor susceptibilidad al ataque de patógenos y un mayor costo del cultivo. El conocimiento de los nutrientes es una buena base para la planeación de un programa adecuado de manejo nutricional del cultivo de papa (Narro, 1995).

Para obtener un alto rendimiento en un cultivo de papa, los niveles de N, P, K, Ca y Mg del suelo deben estar dentro de unas cifras razonables y equilibradas. Por otra parte, cantidades muy pequeñas pero necesarias de micronutrientes deben estar a disposición de la planta; normalmente, estos micronutrientes están presentes en cantidades adecuadas en el suelo (Dominguez, 1997).

2.9.1. Nitrógeno

Papadakis (1977) indica que la importancia del N en la planta ha quedado suficientemente probada, ya que participa en la composición de las sustancias orgánicas más importantes, tales como clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, etc. Debido a que estas sustancias sirven de base para la mayoría de los procesos que rigen el desarrollo, crecimiento y multiplicación de las plantas; resulta evidente la importancia de este elemento en las funciones más características de la vida vegetal. Agrega que un suministro adecuado de N a la planta, produce un rápido crecimiento, un color verde intenso de las hojas, mejora la cantidad y aumenta el contenido de proteínas del producto.

La mayoría de los suelos calcáreos se presentan en zonas áridas y semiáridas, las cuales tienen bajos contenidos de materia orgánica (menos de 2%). Debido a que más del 90% del N está asociado a la materia orgánica, es de esperarse deficiencias de N en suelos calcáreos. En el norte de México es el elemento nutricional que más limita el rendimiento de los cultivos, por lo que debe ser aplicado como fertilizante en la mayoría de los suelos (Olivares, 1997).

Dominguez (1997), menciona que el N es muy necesario durante este período inicial, influyendo de modo importante en el desarrollo foliar, que según se ha visto, es determinante de la capacidad posterior de síntesis de hidratos de carbono. Una alimentación adecuada durante este período influye, por tanto, en el vigor de la planta y en el rendimiento del almidón.

El cultivo de papa requiere suficiente N durante el crecimiento rápido y la tuberización; la cantidad por aplicar varía de acuerdo a la variedad y tipo de suelo cultivado. El exceso de N produce bajo rendimiento debido a un pobre desarrollo de raíces, y las hojas se pueden enrollar hacia arriba y formar "oreja de ratón", las variedades de ciclo largo son especialmente susceptibles a éste problema, en donde además se reduce muy drásticamente el llenado de tubérculos y aumenta el riesgo de ataque de insectos y patógenos (Narro, 1995).

El área foliar por planta depende del desarrollo de la planta durante la etapa de crecimiento vegetativo. Un adecuado crecimiento vegetativo depende de adecuadas condiciones climáticas, buena cantidad de humedad y adecuados niveles de nutrimentos, especialmente N. En papa, en la etapa de crecimiento vegetativo debe haber abundante N para desarrollar los órganos necesarios para la fotosíntesis, sin embargo, después de la floración la suplementación con N debe disminuir (Mengel y Kirkby, 1982).

El efecto del N sobre el rendimiento en tubérculos se puede atribuir a dos procesos: un efecto positivo sobre el tamaño de la parte aérea de la planta que afecta a la cantidad de radiación interceptada y por lo tanto a la acumulación de materia seca, y un efecto negativo acumulando la materia seca en otras partes del crecimiento, diferentes del tubérculo (Alonso, 1996).

A partir de la floración, una alimentación de N en exceso estimula la producción de giberelinas, lo que implica, al variar el equilibrio de fitohormonas, la interrupción de la tuberización y el aumento del crecimiento vegetativo, derivándose los carbohidratos hacia el desarrollo foliar. Existe una correlación claramente negativa entre la disponibilidad de N después de la floración y la tuberización (Dominguez, 1997).

2.9.2. Fósforo

La solubilidad del P es baja, lo cual reduce prácticamente su disponibilidad y constituye una desventaja. El pH más favorable para la disponibilidad del P se encuentra próximo a la neutralidad o ligera acidez. En condiciones débilmente alcalinas suele existir abundancia de Ca en el suelo, lo cual favorece la conversión de P soluble en hidroxapatita $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{OH}$ u otros fosfatos de Ca poco solubles. Con pH próximo a 8 o levemente superior, la solubilidad de estos materiales es tan baja, que con frecuencia se presentan deficiencias. Puede así, existir una abundancia de compuestos sólidos de P en el suelo, al tiempo que los fosfatos solubles son insuficientes para cubrir las necesidades de las plantas (Thompson y Troeh, 1980).

La presencia de carbonatos es factor determinante en el pH del suelo, si la cantidad no es alta, dicho valor será aproximadamente de 7.5, pero si el contenido de carbonatos es alto, entonces, es de esperar valores hasta de pH 8.3. Bajo tales condiciones existe una disminución en la disponibilidad de algunos nutrientes tales como P, Fe, Mn y Zn, lo que origina problemas por deficiencias nutricionales (Pulido et al., 1992).

Los reportes en la región de Navidad N. L. y Sierra de Arteaga, Coahuila indican una baja eficiencia en la aprovechabilidad de P por problemas de fijación, ya que los cultivos utilizan del 5 al 30 % del P aplicado (Morales, 1996).

El P presenta alta movilidad en tejidos vegetales, pero es muy poco móvil en el suelo. Es un componente de proteínas y núcleo-proteínas; participa en procesos de transferencia metabólica y transporte de energía (ATP). El P estimula la formación y crecimientos de raíces. El P se requiere con mayor importancia durante el crecimiento inicial y rápido y al final de la tuberización. Las plantas deficientes son pequeñas y presentan hojas, tallos y ramas de color púrpura; pobre crecimiento de raíces y estolones, y rendimiento reducido. Existe una gran

variedad de tipos de suelos cultivados con papa que tienen problemas con éste elemento, el cual se pierde del suelo por remoción por plantas, fijación y formación de compuestos insolubles (Narro, 1995).

El P que se absorbe durante la etapa de desarrollo vegetativo determina en gran medida el desarrollo del sistema radicular e influye considerablemente en el segundo componente de la producción, es decir, el número de tubérculos por planta que se determina durante el crecimiento inicial del cultivo (Domínguez, 1997).

Alonso (1996), menciona que el P contribuye a adelantar la tuberización y también produce un desarrollo más temprano del cultivo (precocidad). Igualmente, el P favorece el desarrollo del sistema radicular al comienzo de la vegetación. En ciertos experimentos se ha visto que dosis altas de P aumentan el número de tubérculos producidos por la planta.

De acuerdo a Gargantini et al. (1963) la mayor cantidad de P está presente en los tubérculos y después en las hojas y en los tallos. A los 40 días, la planta de papa ya ha absorbido el 80% del total del P; posteriormente se produce la translocación de los órganos aéreos y subterráneos hacia los tubérculos. Considerando que el P no es lixiviado y que el cultivo lo requiere especialmente en su *primer* desarrollo, se recomienda que este elemento esté disponible desde el inicio de su desarrollo.

La falta de P asimilable se refleja en bajos rendimientos y calidad pobre, más que en síntomas en la planta. En el follaje, los bordes de las hojas aparecen color rojo-marrón a marrón-violeta y están curvados hacia arriba (Montaldo, 1984).

2.9.3. Potasio

El K es de movilidad alta en los tejidos y media en el suelo, interviene en la formación de azúcar y almidón; síntesis de proteína, cataliza reacciones, neutraliza ácidos orgánicos y opera la apertura de estomas. Imparte gran vigor y resistencia a las enfermedades. La deficiencia de K provoca infestación de enfermedades y se reduce el rendimiento y la calidad de frutos (Narro, 1995).

El K es el elemento absorbido en mayor cantidad, alcanza intensidades de absorción diarias de 10-12 Kg de K_2O /ha. Su influencia en el desarrollo vegetativo de la planta es muy grande. No obstante, su acción esencial es la de aumentar, junto con el P, la eficacia de la fijación de la energía solar que se traduce en una mayor síntesis de carbohidratos. Por otra parte, interviene en el transporte de las sustancias transformadas hacia los tubérculos. También se ha podido comprobar su influencia favorable en el tamaño de los tubérculos y en la resistencia a las enfermedades (Dominguez, 1997).

Los principales compuestos que acumulan la papa son los carbohidratos, específicamente el almidón. El almidón es producido diariamente en las hojas de la papa, a través de la fotosíntesis, la cual se incrementa al iniciarse la tuberización y el desarrollo de los tubérculos. Desde los centros de producción en las hojas, el almidón va siendo movilizado hacia los tubérculos donde finalmente se almacena. El principal elemento responsable de la movilización del almidón desde las hojas al tubérculo es el K, de tal forma que un alto contenido de este elemento en las plantas es decisivo para obtener altos rendimientos y alta calidad en la producción (Mengel y Kirkby, 1982).

El K es absorbido como ion K^+ . Este elemento tiene gran importancia en el metabolismo de la planta, especialmente en la fotosíntesis y en la translocación de los azúcares. De acuerdo a Gargantini et al. (1963) entre los órganos vegetativos, las hojas contienen la mayor cantidad de K; después están los tallos y las raíces.

Estos mismo autores observaron que después de los 50 días de ciclo, cuando aumenta el ritmo de formación de los tubérculos, éstos pasan a tener la mayor proporción del K.

La influencia del abonado potásico se aprecia más en la calidad de la producción que en el rendimiento. El K influye fundamentalmente en el contenido en materia seca, obscurecimiento de la carne, susceptibilidad a los daños por golpes, decoloración o azuleamiento después de la cocción y comportamiento en el almacenaje. Otros efectos del K son: incrementa la resistencia a las heladas, da resistencia a la sequía al reducir la transpiración e incrementa la resistencia a enfermedades (Alonso, 1996)

La carencia de K es fácil de reconocer por el aspecto enfermizo y el deficiente desarrollo foliáceo y de los tubérculos. La superficie foliar muestra primero una coloración azul-verdosa entre las nervaduras, y manchas rojo-marrón en los bordes de ellas, que se enrollan hacia abajo. Más tarde se extienden sobre la superficie foliar coloraciones amarillentas o negro-marrón, y a causa de la muerte de los tejidos las hojas se desprenden prematuramente. También señalan a la falta de K las manchas grises de los tubérculos y el ennegrecimiento que presentan a la cocción (Montaldo, 1984).

Los fertilizantes potásicos aplicados al suelo son atraídos a la superficie de las arcillas y pueden ser retenidos débilmente, quedando en forma intercambiable; otra parte puede permanecer en la solución del suelo; y otra porción puede ser absorbida en forma inmediata por el cultivo. Además, otra de las porciones puede ser fijada o convertida a una forma no disponible para la planta (Manual de Fertilidad de Suelos, 1988).

2.9.4. Calcio

El Ca es necesario para el crecimiento de meristemas y raíces. Los

pectatos de Ca juegan un papel importante en la formación de la lamela media de las células, interviene en la absorción de N y es básico para neutralizar los ácidos orgánicos en la planta. La deficiencia de Ca se presenta como una reducción en el sistema de hojas y raíces, no es móvil en la planta y los síntomas aparecen primero en los tejidos de hojas jóvenes (Flegmann y Raymond, 1980).

Los suelos de pH mayor de 8.0 pueden contener altas cantidades de Ca precipitado como carbonato y sulfato de Ca. Las plantas lo toman como Ca^{2+} de la solución. El Ca es de muy baja movilidad en el floema y en el suelo es media; dentro de sus funciones ayuda a mantener la integridad y permeabilidad de las membranas celulares, constituyen parte de las paredes celulares, interviene en la división y elongación celular, en el crecimiento y asimilación del N (Narro, 1995).

Altos contenidos de Ca y Mg se presentan en las plantas debido a que tienden a absorber más cantidad de dichos nutrimentos en suelos de origen calcáreos (Dara et al., 1992).

2.9.5. Magnesio

El Mg se encuentra en el suelo como Mg^{2+} y en forma intercambiable en los coloides del suelo. Los niveles de suficiencia en el cultivo de papa son de 0.70-1.0%. La movilidad en la planta es alta y en el suelo es media; forma parte de la molécula de clorofila y sirve como factor de la mayoría de las enzimas que activan los procesos de fosforización. Participa en la síntesis de ARN y proteínas. Es necesario en la formación de azúcares, ayuda a regular la asimilación de K y Ca (Narro, 1995).

En regiones áridas y semiáridas hay suelos muy contaminados con grandes cantidades de Mg como Mg SO_4 . La distribución de Mg en suelos puede ser considerada igual a la distribución de K. Aunque el rango de liberación de Mg está bajo en comparación de la demanda del cultivo, el Mg intercambiable está

usualmente en el orden aproximado del 5% del Mg total y ésta fracción es de gran importancia en la nutrición de la planta (Mengel y Kirkby, 1982).

Alonso (1996), menciona que cuando se aplican dosis altas de K o bien de N en forma amoniacal se está reduciendo la disponibilidad de Mg en el suelo, ya que es un elemento muy susceptible a la competencia de otros cationes en su absorción.

2.9.6. Micronutrientes

Brown y Kratky (1983), mencionan que de los 16 elementos esenciales de las plantas, 7 se denominan micronutrientes y son: Fe, Cu, Zn, B, Mo, Mn y Cl. La diferencia de cualquiera de estos elementos puede causar reducción grave del rendimiento y en condiciones extremas el fracaso total del cultivo; también señalan que el origen de las deficiencias puede ser por el tipo de suelo (pH y material original), la materia orgánica, la actividad microbiana (el metabolismo de microorganismos induce deficiencias), la humedad del suelo (aireación) y el consumo del elemento.

2.9.7. Hierro

El Fe puede llegar a las raíces de las plantas como Fe^{2+} , Fe^{3+} o quelato. El ion requerido preferentemente por las plantas es el Fe^{2+} y la eficiencia de absorción está muy relacionada con la capacidad de la planta para transformar el Fe^{3+} (férrico) a Fe^{2+} (ferroso). Algunas plantas eficientes para absorber hierro, bajan el pH de la solución o excretan sustancias reductoras capaces de reducir de Fe^{3+} a Fe^{2+} . La nutrición del hierro depende además de la presencia de carbonatos en el suelo, del contenido de fosfatos, de los niveles de metales pesados como Cu, Mg y Zn (Mortvedt et al., 1983).

El Fe presenta baja movilidad tanto en suelos como en plantas y es un

componente importante en varios sistemas enzimáticos y de la proteína ferredoxina y se requiere para la reducción de sulfatos y nitratos, así como la síntesis de clorofila. Es conveniente, en muchos casos aplicar éste elemento desde las etapas tempranas de crecimiento de las plantas de papa, aunque su demanda es mayor durante el crecimiento rápido. El exceso de éste elemento se manifiesta por un bronceado de las hojas y puede inducir deficiencias de otros elementos menores (Narro, 1995).

La cantidad asimilable de Fe en el suelo varía principalmente con el pH del mismo. Cuando hay una gran alcalinidad (pH alto) la forma férrica tiende a la formación de hidróxido férrico que se precipita haciéndose insoluble. Esto ocurre en suelos con alto contenido de Ca, produciéndose en las plantas una severa clorosis, llamada "clorosis caliza" (Rodríguez, 1982).

2.9.8. Manganeso

El Mn es el micronutriente más abundante en el suelo después del hierro, y se encuentra con valencias Mn^{2+} , Mn^{3+} y Mn^{4+} . La forma más común de absorción por la planta es como Mn^{2+} , el cual puede encontrarse absorbido en los coloides del suelo, en la solución en forma iónica o quelato. Los principales factores que afectan la disponibilidad de Mn en el suelo son el pH y el potencial redox. El Mn es absorbido activamente por el sistema radicular como Mn^{2+} . Se distribuye en la planta principalmente por el xilema, siendo un elemento de baja movilidad vía floema, lo que hace que los síntomas de toxicidad se manifiestan en las hojas nuevas. En los suelos calcáreos la solubilidad de Mn disminuye a medida que se incrementa el $CaCO_3$. El Mn se absorbe al $CaCO_3$ ó se precipita como MnO_2 . En suelos con alto pH y altos contenidos de materia orgánica son comunes las deficiencias de Mn, las cuales pueden ser minimizadas con aplicaciones foliares (Mortvedt et al., 1983).

Jones et al. (1991), reportan al Mn como micronutriente esencial que está involucrado en los procesos de oxidación y reducción en el sistema fotosintético de transporte de electrones. Es esencial en el fotosistema II y fotólisis, actúa como acompañante del ATP y enzima de fosfoquinasa compleja y fosfotransferasa y activa oxidasas de AIA.

Las plantas dicotiledoneas deficientes presentan clorosis intervenal en hojas jóvenes, con venas verde pálido. La disponibilidad del Mn disminuye al incrementarse el pH del suelo. El Mn reacciona con fosfatos y se fija; además se pierde por remoción por plantas, lavado y erosión. El exceso de Mn puede ocasionar puntos café rodeados de un círculo clorótico en hojas viejas y puede originar deficiencias de otros elementos menores (Narro, 1995).

Houghland (1964) menciona que la deficiencia de Mn se reporta en suelos calcáreos porque bajo tales condiciones este elemento está en forma no disponible para las plantas. Otros elementos (B y Zn) son afectados en forma similar por un exceso de carbonato de Ca.

2.9.9. Zinc

La principal función del Zn es como activador enzimático de no menos de ocho enzimas, siendo las más importantes el grupo de las deshidrogenasas, sintetetasas, carboxilasas e isomerasas. El Zn está estrechamente relacionado con el metabolismo del N de la planta. En las plantas deficientes del Zn se produce una reducción en la síntesis proteica. El Zn está estrechamente relacionado con el proceso de síntesis de AIA, al intervenir en la síntesis de triptófano, precursor del AIA (Mortvedt et al., 1983).

El Zn presenta baja movilidad en el suelo y en tejidos vegetales y participa en la síntesis de auxinas, y en las mismas funciones enzimáticas del Mn y Mg. Las plantas deficientes tienen raíces anormales, hojas moteadas, con clorosis

intervenal, bronceadas, en rosete, su disponibilidad para las plantas disminuye al incrementarse el pH del suelo. El Zn reacciona fuertemente con fosfatos y otros compuestos y se fija; además se pierde por remoción por plantas, lavado, y erosión. El cultivo de papa requiere suministro de Zn durante prácticamente todo el ciclo (Narro, 1995).

Jones et al. (1991) lo reportan en la solución como catión Zn^{2+} , como Zn intercambiable y como complejos orgánicos de Zn y agregan que su disponibilidad se afecta por un alto pH y P.

2.9.10. Cobre

La movilidad del Cu es baja en suelos y en tejidos vegetales y participa como constituyente de la proteína plastocianina del cloroplasto y sirve como parte del sistema de transportes de electrones ligando los fotosistemas I y II. Participa en la síntesis de lignina, y es cofactor en la síntesis de ácidos nucleicos. Las plantas deficientes presentan hojas jóvenes distorsionadas y necrosis en el meristemo apical. La disponibilidad del Cu disminuye al incrementarse el pH del suelo. El exceso del Cu puede ocasionar deficiencia de Fe y clorosis y crecimiento reducido de raíz. Las fuentes más comunes que se aplican son el sulfato de Cu y diferentes fungicidas que contienen éste elemento (Narro, 1995).

Para la mayoría de las especies de plantas, las altas cantidades de Cu en el medio de crecimiento son tóxicas. El efecto aparenta estar relacionado en parte con la capacidad del Cu de remplazar a otros iones metálicos como el Fe. La clorosis es un síntoma que usualmente se observa en la toxicidad del Cu, superficialmente parecido a la deficiencia del Fe. Niveles altos de Ca contrarrestan la toxicidad de Cu, así también apoyan la perspectiva del Cu excesivo, ejerciendo una influencia en la estructura de la membrana (Mengel y Kirkby, 1982).

2.9.11. Boro

El B es absorbido perfectamente por las raíces de las plantas en la forma de H_3BO_3 . Tal como ocurre con el Ca, el B sufre un transporte unidireccional por el xilema vía corriente transpiratoria. Vía floema es prácticamente inmóvil, motivo por el cual se manifiestan primero en las hojas nuevas y ápices de crecimiento. Una importante función del B es facilitar el transportar de azúcares a través de las membranas. Se forma un complejo azúcar borato, que atraviesa más fácilmente las membranas celulares. En suelos encalados, o con altos contenidos de Ca disminuye la disponibilidad de B para los cultivos. Los suelos calcáreos pueden ser deficientes en B a causa de su alto pH (Mortvedt et al., 1983).

La adsorción de B a minerales arcillosos se incrementa al incrementar el pH. Sin embargo, en suelos calcáreos no son frecuentes las deficiencias de B debido a que en muchas ocasiones el agua de riego puede tener alta concentración de este elemento o puede acumularse en el suelo debido a una baja lixiviación (Mengel y Kirkby, 1982).

En plantas de papa rara vez se han observado síntomas de deficiencia de B, los cuales consisten en reducción en crecimiento con entrenudos cortos y hojas enrolladas. En los tubérculos se distinguen manchas necróticas, marrones, con reducción en su calidad culinaria. El exceso de B causa amarillamiento en las puntas de las ramas, seguidas de necrosis (Narro, 1995).

Rodríguez (1982), menciona que los vegetales poseen una distinta tolerancia y sensibilidad al B. Se consideran muy sensibles aquellos que toleran entre 0.3 y 1 ppm en el agua de riego (limón, naranjo, aguacate, vid, manzano, peral, ciruelo y nogal). Tolerantes, entre 1 y 2 ppm de B en el agua de riego (zanahoria, lechuga, col, nabo, cebolla, remolacha y alfalfa). Muy tolerantes, de 2 a 4 ppm (camote, calabaza, avena, maíz, trigo, cebada, olivo, tomate, algodón, papa y girasol).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Para cumplir con el objetivo de establecer las normas DRIS en la región, se planteó lo siguiente:

3.1.1. Localización de las áreas de muestreo

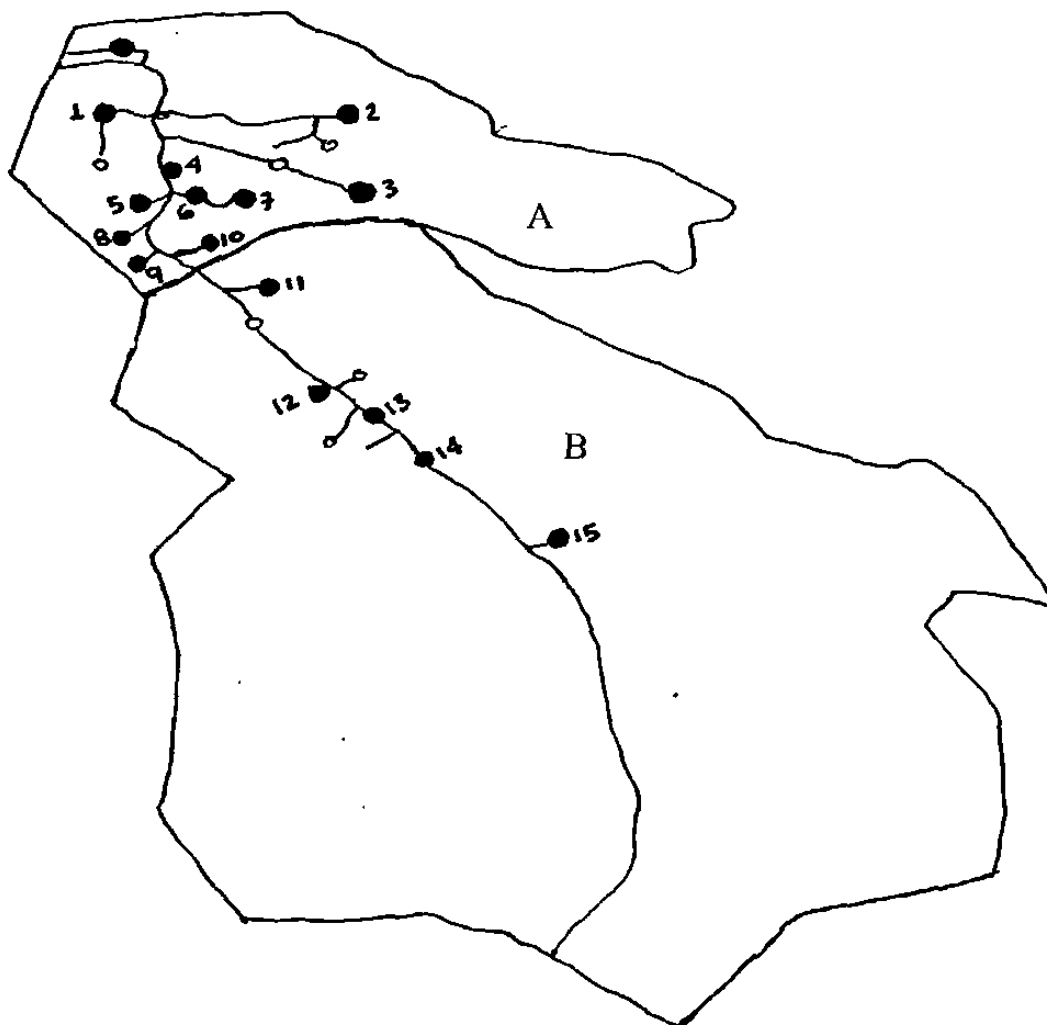
En este trabajo de investigación la fase de campo se inició durante el ciclo P-V 1996 y se continuó en el ciclo P-V 1997, para lo cual se realizaron recorridos de campo para localizar predios sembrados de papa en los municipios de Arteaga, Coahuila y Galeana, N.L. En la Figura 1 se presenta la ubicación de las áreas de muestreo.

3.1.2. Colección de muestras foliares

Se colectaron muestras foliares en la etapa vegetativa de inicio de tuberización del cultivo de papa, obtenidas de la cuarta o quinta hoja incluyendo el pecíolo, a partir del ápice de la planta. Cada muestra foliar consistió de 40 ó 50 hojas en una área de 20 m².

3.1.3. Número de muestras foliares colectadas por municipio, localidad y ciclo agrícola

En el Cuadro 1 se presenta el número de muestras foliares colectadas por municipio, por localidad y por ciclo agrícola. Durante el ciclo P-V de 1996 fueron colectadas 72 muestras foliares, para el segundo ciclo del cultivo (P-V 1997), se tomaron 70 muestras foliares. En total de los dos ciclos de cultivo se tomaron 142 muestras foliares



A) Arteaga, Coahuila

B) Galeana, Nuevo León

- | | | |
|---------------------|--------------------|-------------------|
| 1) La Herradura | 2) Los Lirios | 11) Puerto México |
| 3) San Antonio | 4) Los Llanos | 12) Providencia |
| 5) Cedritos | 6) Emiliano Zapata | 13) San Rafael |
| 7) S. J. Del Vergel | 8) Las Playas | 14) San Joaquín |
| 9) Huachichil | 10) San Felipe | 15) Trinidad |

Figura 1. Ubicación de las áreas de muestreo donde se desarrolló la investigación

Cuadro 1. Número de muestras foliares colectadas por municipio, localidad y ciclo agrícola

Municipio	Ciclo P-V 1996	Ciclo P-V 1997
Arteaga, Coahuila	Huachichil (13)	Huachichil (11)
	E. Zapata (14)	E. Zapata (8)
	San Felipe (6)	San Felipe (6)
	San Antonio (6)	San Antonio (4)
	Los Llanos (8)	Los Llanos (17)
	Cedritos (2)	Las Playas (2)
	S.J. del Vergel(4)	Los Lirios (3)
	La Herradura (3)	
	Los Lirios (1)	
	Total (57)	Total (51)
Galeana, Nuevo León	Puerto México (6)	Puerto México (10)
	Trinidad (4)	San Joaquín (7)
	San Rafael (3)	Providencia (2)
	Providencia (2)	
	Total (15)	Total (19)
	Total por ciclo (72)	Total por ciclo (70)

3.1.4. Preparación de muestras foliares

Una vez obtenidas dichas muestras se lavaron en una solución de HCl 0.1 M, mezclada con agua desmineralizada, después fueron secadas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 70° C por 24 horas, para luego ser molidas en un molino de acero inoxidable.

3.1.5. Análisis de muestras foliares

Las muestras se analizaron en el laboratorio de CENID-RASPA de Gómez Palacio, Durango, en el cual se determinó la concentración de N, por el método del destilador microkjeldahl, P por el método colorimétrico utilizando molibdato de amonio y K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn y B por absorción atómica.

3.1.6. Estimación de rendimiento comercial

Posteriormente se continuó con otros recorridos de campo para ubicar los lotes que se muestrearon y que estuvieran listos para cosecha, con la finalidad de estimar el rendimiento comercial, haciendo dicha estimación, en el mismo sitio donde se tomaron las muestras foliares, para lo cual se tomó la misma área de muestreo (20 m²) y se clasificaron los tubérculos en primera, segunda y tercera categoría.

3.1.7. Metodología para el establecimiento de las normas DRIS

Con la determinación de la concentración de nutrimentos en el laboratorio y con los datos de estimación de rendimiento comercial de los predios muestreados, se obtuvieron las normas para el cultivo de papa en la región mediante la metodología DRIS (Sistema Integral de Diagnóstico y Recomendación) propuesta por Beaufils (1973) en base a 142 observaciones de los dos ciclos.

3.1.8. Procedimiento utilizado para el establecimiento de las normas DRIS

- i) El total de observaciones de análisis foliares para el ciclo P-V 1996, 1997 y análisis total de los dos ciclos, se dividió en dos poblaciones (mayores o iguales a 40 ton/ha) y bajos rendimientos (menores de 40 ton/ha).
- ii) Se analizó la información mediante un diseño completamente al azar, utilizando la prueba de F para comparar dichas poblaciones.
- iii) Se calculó la media y el coeficiente de variación de las diferentes formas de expresión de nutrimentos en ambas poblaciones para cada uno de los ciclos y total de los dos ciclos.

iv) Se tomó la media y el coeficiente de variación de la población de altos rendimientos, para construir los valores de referencia o normas DRIS para cada ciclo y total de los dos ciclos.

3.2. Para cumplir con el segundo objetivo de realizar un diagnóstico nutricional regional por diferentes métodos, se planteó lo siguiente:

3.2.1. Datos y métodos utilizados

Con la determinación de la concentración de nutrimentos en el laboratorio y con los datos de estimación de rendimiento comercial de los predios muestreados, para el ciclo P-V 1996 (72 muestras), 1997 (70 muestras) y análisis total de los dos ciclos (142 muestras), se realizó un diagnóstico nutricional para el cultivo de papa, utilizando 3 métodos estadísticos diferentes: Análisis de Varianza, Correlación Simple y Componentes Principales. *

También se hicieron diagnósticos nutricionales utilizando únicamente la información de los análisis foliares, mediante los métodos de Rangos de Suficiencia y Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS).

3.2.2. Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio del Análisis de Varianza

a) El total de observaciones de análisis foliares para el ciclo P-V 1996, 1997 y análisis total de los dos ciclos, se dividió en dos poblaciones: altos rendimientos (mayores o iguales a 40 ton/ha) y bajos rendimientos (menores de 40 ton/ha).

b) Se analizó la información mediante un diseño completamente al azar, utilizando la prueba de F para comparar dichas poblaciones.

3.2.3. Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio de Correlación Simple

a) Los datos de concentración de nutrimentos en el tejido de la planta se analizaron por correlación simple con el rendimiento obtenido en cada sitio de muestreo.

b) Se determinaron los coeficientes de correlación y niveles de significancia (p), entre el rendimiento y la concentración de nutrimentos en la hoja de papa para N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn y B, así como la relación entre ellos.

3.2.4. Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio de Componentes Principales

a) Los datos de concentración de nutrimentos se analizaron por medio de componentes principales con rotación Varimax y se realizó un análisis de regresión múltiple, considerando como variable dependiente el rendimiento y como variables independientes a los componentes principales.

b) Se determinaron los coeficientes de correlación entre los componentes principales y la concentración de nutrimentos en las hojas de papa.

c) Se establecieron los niveles de significancia que explican la relación entre los componentes principales y el rendimiento.

En los análisis estadísticos realizados para el diagnóstico nutricional por medio del análisis de varianza, correlación simple y componentes principales, se utilizó el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

3.2.5. Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio de Rangos de Suficiencia

Los análisis de laboratorio de cada muestra, se compararon con los Rangos de Suficiencia establecidos para el cultivo de papa por Reuter y Robinson (1986) y Walwort y Muñiz (1993).

3.2.6. Procedimiento utilizado para el diagnóstico nutricional por medio del DRIS

Los análisis de laboratorio de cada muestra se utilizaron para hacer un diagnóstico nutricional para cada ciclo, con las normas DRIS obtenidas para cada uno de los mismos. La metodología contempla que la interpretación se sustente en la estimación de un índice para cada factor, en función de la diferencia entre los valores de forma de expresión (relación entre dos nutrientes) de la muestra tomada en el campo y la norma DRIS correspondiente.

Para determinar los índices DRIS en cada muestra obtenida, el procedimiento fue el siguiente:

a) Se calcularon las relaciones de las normas DRIS con las relaciones calculadas de los análisis foliares de las muestras consideradas. Si el valor medio de la relación de la muestra era mayor que la media de la relación de la norma DRIS, se utilizó la siguiente ecuación:

$$f\left(\frac{N}{P}\right) = 100\left(\frac{N/P}{n/p} - 1\right) \frac{10}{CV}$$

Si el valor medio de la relación de la muestra era menor que la media de la norma DRIS se utilizó:

$$f\left(\frac{N}{P}\right) = 100\left(1 - \frac{\frac{n}{P}}{\frac{N}{P}}\right) \frac{10}{CV}$$

Donde:

$$f\left(\frac{N}{P}\right) = \text{Función de la relación N/P}$$

$\frac{n}{P}$ = Valor medio de la relación n/p de la norma DRIS obtenida en cada ciclo

$\frac{N}{P}$ = Valor de la relación N/P en la muestra

C.V. = Coeficiente de variación para el establecimiento de las normas DRIS

c) Una vez estimada la función de cada relación, se calcularon los índices de los nutrimentos involucrados. Las siguientes ecuaciones representan la forma general de los índices DRIS, para cada nutrimento.

$$I(N) = f(N/P) + f(N/K) + f(N/Ca) + f(N/Mg) + f(N/Fe) + f(N/Mn) + f(N/Cu) + f(N/Zn) + f(N/B) / 9$$

$$I(P) = -f(N/P) + f(P/K) + f(P/Ca) + f(P/Mg) + f(P/Fe) + f(P/Mn) + f(P/Cu) + f(P/Zn) + f(P/B) / 9$$

$$I(K) = -f(N/K) - f(P/K) + f(K/Ca) + f(K/Mg) + f(K/Fe) + f(K/Mn) + f(K/Cu) + f(K/Zn) + f(K/B) / 9$$

$$I(Ca) = -f(N/Ca) - f(P/Ca) - f(K/Ca) + f(Ca/Mg) + f(Ca/Fe) + f(Ca/Mn) + f(Ca/Cu) + f(Ca/Zn) + f(Ca/B) / 9$$

$$I(Mg) = -f(N/Mg) - f(P/Mg) - f(K/Mg) - f(Ca/Mg) + f(Mg/Fe) + f(Mg/Mn) + f(Mg/Cu) + f(Mg/Zn) + f(Mg/B) / 9$$

$$I(Fe) = -f(N/Fe) - f(P/Fe) - f(K/Fe) - f(Ca/Fe) - f(Mg/Fe) + f(Fe/Mn) + f(Fe/Cu) + f(Fe/Zn) + f(Fe/B) / 9$$

$$I(\text{Mn}) = -f(\text{N/Mn}) - f(\text{P/Mn}) - f(\text{K/Mn}) - f(\text{Ca/Mn}) - f(\text{Mg/Mn}) - f(\text{Fe/Mn}) + f(\text{Mn/Cu}) + f(\text{Mn/Zn}) + f(\text{Mn/B}) / 9$$

$$I(\text{Cu}) = -f(\text{N/Cu}) - f(\text{P/Cu}) - f(\text{K/Cu}) - f(\text{Ca/Cu}) - f(\text{Mg/Cu}) - f(\text{Fe/Cu}) - f(\text{Mn/Cu}) + f(\text{Cu/Zn}) + f(\text{Cu/B}) / 9$$

$$I(\text{Zn}) = -f(\text{N/Zn}) - f(\text{P/Zn}) - f(\text{K/Zn}) - f(\text{Ca/Zn}) - f(\text{Mg/Zn}) - f(\text{Fe/Zn}) - f(\text{Mn/Zn}) - f(\text{Cu/Zn}) + f(\text{Zn/B}) / 9$$

$$I(\text{B}) = -f(\text{N/B}) - f(\text{P/B}) - f(\text{K/B}) - f(\text{Ca/B}) - f(\text{Mg/B}) - f(\text{Fe/B}) - f(\text{Mn/B}) - f(\text{Cu/B}) - f(\text{Zn/B}) / 9$$

Cada índice es la media de todas las funciones de relaciones donde está involucrado el nutrimento. Si el elemento que se calcula está en el numerador se le respeta el signo, pero si está en el denominador se le cambia el signo.

d) Orden de requerimiento nutricional

La suma de los índices positivos y negativos deben ser cero para que exista un balance entre los nutrimentos de la muestra analizada. Índices negativos significan deficiencia y los índices positivos indican suficiencia o excesos relativos. El más negativo es el más deficiente y los que le siguen indican el orden de requerimientos de los nutrimentos (Walworth y Sumner, 1987).

e) Determinación del índice de desbalance nutricional (IDN)

Una vez determinados los índices DRIS para cada nutrimento, se calculó el índice de desbalance nutricional (IDN), sumando todos los índices, independientemente del signo (+ ó -). El valor más grande indica mayor desbalance nutricional y por lo tanto se esperaría un menor rendimiento (Davee et al., 1986)

3.2.7. Programa computacional para el cálculo de índices DRIS

Con la finalidad de facilitar el cálculo de los índices DRIS en el cultivo de papa, utilizando las normas DRIS establecidas en la región, se realizó un programa computacional en Visual Basic (Versión 3.0).

3.3. Para cumplir con el objetivo de calibración de las normas DRIS establecidas, se realizó un experimento:

3.3.1. Localización del experimento

El experimento se estableció en la región de la Sierra de Arteaga, Coahuila, en terrenos del Campo experimental "Saltillo", perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (INIFAP), el cuál se localiza a 25° 16' de Latitud Norte Y 100° 46' de Longitud Oeste, a una altura de 2040 msnm.

3.3.2. Preparación del terreno

Se estableció en un terreno que permaneció en descanso en el ciclo agrícola anterior y se realizó un barbecho con dos meses de anticipación a la siembra y dos pasos de rastra cruzados antes de la siembra

3.3.3. Fecha de siembra y variedad utilizada

El experimento se sembró el 28 de Mayo de 1998. La variedad utilizada fue Atlantic, el tamaño del tubérculo correspondió a tercera categoría.

3.3.4. Densidad de siembra

La distancia entre surcos fue de 92 cm y entre plantas 20 cm. Siendo una densidad de plantación de 54,000 plantas/ha.

3.3.5. Tratamientos de fertilización evaluados

El experimento consistió en evaluar 10 dosis de fertilización, aplicadas al momento de la siembra. En el Cuadro 2 se desglosan los tratamientos evaluados:

Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el experimento de calibración de las normas DRIS en papa. Ciclo P-V 1998.

Número	Dosis de Fertilización
1	100- 200-100
2	100-300-200
3	100-400-300
4	200-200-100
5	200-300-200
6	200-400-300
7	300-200-100
8	300-300-200
9	300-400-300
10	0 - 0 - 0

3.3.6. Aplicación de fertilizantes

La aplicación de fertilizantes se realizó al momento de la siembra, utilizando como fuentes de fertilización: Nitrato de Amonio (33.5 % N), Fosfato Monoámonico (11-52-00) y Sulfato de potasio (50 % K₂O).

3.3.7. Diseño experimental

El diseño experimental fue bloques al azar con 4 repeticiones por tratamiento.

3.3.8. Parcela experimental

La parcela experimental fue de 5 surcos de 5 m de largo y la parcela útil fue constituida por los 3 surcos centrales de 3 m de largo.

3.3.9. Muestreo foliar

Se realizó un muestreo foliar el día 7 de Julio de 1998, 40 días después de la siembra.

3.3.10. Colección de muestras foliares

De cada parcela se tomaron 30 hojas completas incluyendo el pecíolo. La hoja que se tomó de cada planta fue la cuarta o quinta a partir del ápice de la planta, la cuál correspondió a la primera hoja madura totalmente expandida.

3.3.11. Preparación de muestras foliares

Una vez obtenidas las muestras foliares, se lavaron en una solución de HCl 0.1 M, mezclada con agua desmineralizada, después fueron secadas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 70° C por 24 horas, para luego ser molidas en un molino de acero inoxidable.

3.3.12. Análisis de las muestras foliares

Las muestras foliares se analizaron en el laboratorio de Fundación Produce Coahuila A.C, en el cual se determinó la concentración de N, por el método del destilador Microkjeldahl, P por el método Colorimétrico utilizando Molibdato de Amonio y K por Absorción Atómica.

3.3.13. Cosecha del experimento

La cosecha del experimento se realizó el día 17 de Septiembre de 1998, estimándose el rendimiento comercial (1ª, 2ª y 3ª categorías) para cada uno de los tratamientos evaluados.

3.3.14. Cálculo de índices DRIS

Para el cálculo de índices DRIS se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Beaufilet en 1973, descrita anteriormente en el diagnóstico nutricional.

Las siguientes ecuaciones representan la forma general de los índices DRIS, para cada nutrimento.

$$I N = f (N/P) + f (N/K) - f (P/N) - f (K/N) / 4$$

$$I P = f (P/N) + f (P/K) - f (N/P) - f (K/P) / 4$$

$$I K = f (K/N) + f (K/P) - f (N/K) - f (P/K) / 4$$

Se calculó el orden de requerimiento nutricional e índice de desbalance Nutricional (IDN) para cada muestra de acuerdo a la metodología descrita anteriormente.

Los índices DRIS fueron calculados utilizando el programa realizado para tal fin (Sección 3.2.7).

3.3.15. Utilización de otros datos experimentales

Con la finalidad de enriquecer este trabajo de investigación, se aplicaron las normas DRIS establecidas en este trabajo, en un experimento de fertilización con N, P y K para papa, realizado por Rubio (1988), con el objetivo de comprobar la precisión del diagnóstico nutricional hecho con dichas normas.

El experimento consistió en 5 dosis iniciales de fertilización, aplicadas al momento de la siembra, cada una de las cuales se complementó durante la primera escarda para generar otras 5 y de esta manera obtener un total de 25 tratamientos de fertilización.

La lista de tratamientos se incluye en el Cuadro 1A, en el cual se aprecia la estructura de los tratamientos, referente al efecto de un factor adicionado a la dosis inicial, es decir cada dosis inicial se modifica de 5 maneras: 1) Se deja como está, 2) Se agrega N, 3) Se agrega P, 4) Se agrega K y 5) Se agrega N, P y K.

El diseño experimental fue parcelas divididas con 4 repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por 15 surcos de 7 m de largo y en cada una de ellas se colocó una repetición de la dosis inicial, posteriormente la parcela grande se dividió en 5 subparcelas de 3 surcos cada uno, las cuales se fertilizaron durante la primera escarda de acuerdo a la lista de tratamientos, quedando así establecidas las dosis finales en parcelas chicas.

El experimento se sembró el 1° de Junio de 1988, en el rancho "El Bayonero" ubicado en el cañon de Emiliano Zapata del municipio de Arteaga, Coahuila. La variedad utilizada fue Alpha.

El muestreo foliar de cada parcela grande se realizó el 12 de Julio, cuando la planta tenia una altura de 25-30 cm y 8 a 10 hojas. De cada parcela se tomaron 40 hojas completas incluyendo el peciolo. La hoja que se tomó de cada planta fue la 5ª y 6ª a partir del ápice.

Las hojas se secaron en una estufa de aire forzado a 65° C y posteriormente se molieron y se les determinó químicamente la concentración de N, P y K.

La segunda aplicación del fertilizante se realizó el 22 de Julio, cuando el follaje aún no cerraba el surco, permitiendo de esta manera el paso de la maquinaria para fertilizar.

Durante el desarrollo del experimento se presentaron heladas y ataque de Tizón tardío (*Phytophthora infestans*), los cuales afectaron el rendimiento del

cultivo. La cosecha del experimento se realizó el día 10 de Octubre, estimándose el rendimiento comercial (1ª, 2ª y 3ª categorías) para cada uno de los tratamientos evaluados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Establecimiento de las normas DRIS

4.1.1 Ciclo P-V 1996

Para el ciclo P-V 1996, se tomaron 72 muestras foliares con sus respectivos rendimientos de acuerdo con la metodología para el establecimiento de las normas DRIS.

Se dividió la población en altos y bajos rendimientos, considerando el límite de 40 Ton/ha. Al dividir la población, solamente 13 observaciones del total de 72, presentaron producciones iguales o mayores de 40 Ton/ ha, representando un 18% y 59 observaciones fueron para poblaciones de bajos rendimientos (< 40 Ton/ha.). Letzsch y Sumner (1984), mencionan que las mejores normas DRIS son obtenidas considerando un límite alto de rendimiento para dividir las dos poblaciones y que tenga al menos un 10% de observaciones de alto rendimiento.

En el Cuadro 3 se presentan las medias de concentración de nutrimentos en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrimentos en poblaciones de altos rendimientos, para el ciclo P-V 1996. En éste Cuadro se observan las medias de concentración y coeficientes de variación para 58 formas de expresión de nutrimentos con N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B.

Los análisis de varianza para los nutrimentos y sus relaciones mostraron que N, P y B fueron diferentes significativamente ($p < .05$) entre las poblaciones, así como las relaciones en donde intervienen estos elementos (Cuadro 3).

Se encontraron altos coeficientes de variación para las relaciones en donde intervienen los micronutrimentos, entre ellos mismos y con los macronutrimentos, debido principalmente a la variación de concentración de los mismos, comparado

con la variación de concentración de las relaciones en donde intervienen los macronutrientes, las cuales fueron menores.

Cuadro 3. Medias de concentración en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrientes en población de altos rendimientos (mayor o igual a 40 Ton/ha). Ciclo P-V 1996.

Formas de expresión	Media	C.V.	Formas de expresión	Media	C.V.
N *	4.56	14.69	100 P/Mn	.13	107.69
P *	.34	20.58	100 P/Zn *	.59	52.54
K	4.32	15.04	100 P/Cu	3.14	36.62
N/P	13.81	13.61	100 P/B *	2.26	79.64
P/N	.07	14.28	100 K/Fe	2.69	39.40
N/K	1.07	15.88	100 K/Mn	1.62	111.72
K/N	.96	14.58	100 K/Zn	7.74	55.03
P/K *	.08	25.00	100 K/Cu	38.85	34.10
K/P *	13.28	22.36	100 K/B *	30.21	94.04
Ca	2.59	37.83	100 Ca/Fe	1.74	77.58
Mg	.57	15.78	100 Ca/Mn	.83	65.06
N/Ca *	2.06	44.66	100 Ca/Zn	4.51	63.41
N/Mg *	8.15	23.43	100 Ca/Cu	21.00	32.52
P/Ca *	.15	46.66	100 Ca/B *	16.85	71.27
P/Mg *	.60	25.00	100 Mg/Fe	.37	45.94
K/Ca	1.91	42.41	100 Mg/Mn	.19	89.47
K/Mg	7.90	23.41	100 Mg/Zn	.96	45.83
Ca/Mg	4.61	31.23	100 Mg/Cu	4.99	25.05
Fe	182.08	42.36	100 Mg/B *	3.90	71.28
Mn	389.92	43.87	Fe/Mn	.86	175.58
Zn	68.31	42.57	Fe/Zn	3.43	94.75
Cu	12.00	23.58	Fe/Cu	17.24	76.39
B *	20.23	40.78	Fe/B *	11.82	78.93
100 N/Fe	2.81	35.23	Mn/Zn	5.85	30.08
100 N/Mn	1.74	114.36	Mn/Cu	31.97	44.47
100 N/Zn	8.20	55.36	Mn/B *	24.39	67.19
100 N/Cu	41.75	35.73	Cu/Zn	.21	42.85
100 N/B *	31.11	83.70	Cu/B *	.84	82.14
100 P/Fe	.21	42.85	Zn/B *	4.01	53.36

* Diferencia Significativa $p < .05$

4.1.2 Ciclo P-V 1997

En el ciclo P-V 1997, se tomaron 70 muestras foliares con sus respectivos rendimientos. Al dividir en este ciclo, la población en altos y bajos rendimientos, 34 observaciones del total de 70 presentaron producciones iguales o mayores de 40 Ton/ ha, representando un 48.5 % y 36 observaciones fueron para poblaciones de bajos rendimientos (< 40 Ton/ha.).

En el Cuadro 4 se presentan, medias de concentración de nutrimentos en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrimentos en poblaciones de altos rendimientos, para el ciclo P-V 1997. En éste Cuadro se observa las medias de concentración y coeficientes de variación para 58 formas de expresión de nutrimentos con N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B.

Los análisis de varianza para los nutrimentos y sus relaciones mostraron que N, Mg y Mn fueron diferentes significativamente ($p < .05$) entre las poblaciones, así como las relaciones en donde intervienen estos elementos (Cuadro 4).

En cuanto a la varianza de micronutrimentos medida con el coeficiente de variación, se observaron las mismas tendencias del ciclo anterior. Los coeficientes de variación para los micronutrimentos fueron mayores que los coeficientes de variación para los macronutrimentos.

4.1.3 Análisis total de los dos ciclos

En el análisis total de los dos ciclos se consideraron 142 muestras foliares con sus respectivos rendimientos, tomando la información de los dos ciclos P-V 1996 y 1997.

Al dividir la población en altos y bajos rendimientos, 47 observaciones del total de 142, presentaron producciones iguales o mayores de 40 Ton/ha, representando un 33 % y 95 observaciones fueron para poblaciones de bajos rendimientos (< 40 Ton/ha).

En el Cuadro 5 se presentan las medias de concentración de nutrimentos en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrimentos en poblaciones de altos rendimientos, para el análisis total de los dos ciclos. En éste Cuadro se observan las medias de concentración y coeficientes de variación para 58 formas de expresión de nutrimentos con N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B para el análisis total de los dos ciclos. Dichos valores fueron considerados como las normas DRIS en base a las 142 observaciones. Letsch (1985) y Walwort y Sumner (1987) mencionan que las normas DRIS son las medias de las relaciones o formas de expresión de la composición del tejido foliar, con sus respectivos coeficientes de variación de una población de altos rendimientos.

Los análisis de varianza para los nutrimentos y sus relaciones mostraron que N, P, Mg, Fe, Mn y B fueron diferentes significativamente ($p < .05$) entre las poblaciones, así como las relaciones en donde intervienen estos elementos (Cuadro 5).

También se presentaron altos coeficientes de variación para las relaciones en donde intervienen los micronutrimentos, entre ellos mismos y con los macronutrimentos.

Cuadro 4. Medias de concentración en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrientes en población de altos rendimientos (mayor o igual a 40 Ton/ha). Ciclo P-V 1997.

Formas de expresión	Media	C.V.	Formas de expresión	Media	C.V.
N *	4.81	9.23	100 P/Mn *	.07	43.27
P	.32	15.65	100 P/Zn	.43	35.46
K	3.96	15.91	100 P/Cu	2.43	61.30
N/P *	15.08	12.83	100 P/B	1.33	36.88
P/N	.07	13.35	100 K/Fe	1.060	45.64
N/K	1.23	18.68	100 K/Mn *	.84	35.44
K/N	.84	16.59	100 K/Zn	5.19	31.68
P/K	.08	21.47	100 K/Cu	33.77	72.38
K/P	12.62	22.09	100 K/B	16.19	34.97
Ca	2.67	22.14	100 Ca/Fe	1.04	40.67
Mg *	.63	19.20	100 Ca/Mn *	.57	46.76
N/Ca	1.88	33.49	100 Ca/Zn	3.43	43.14
N/Mg *	7.97	21.59	100 Ca/Cu	21.85	54.95
P/Ca	.13	38.54	100 Ca/B	10.71	43.51
P/Mg *	.54	25.74	100 Mg/Fe *	.24	37.47
K/Ca	1.57	37.37	100 Mg/Mn *	.13	45.84
K/Mg *	6.63	24.33	100 Mg/Zn	.80	35.64
Ca/Mg	4.50	25.10	100 Mg/Cu	5.32	64.86
Fe	307.90	46.27	100 Mg/B	2.50	35.00
Mn *	543.40	39.08	Fe/Mn	.78	115.83
Zn	86.68	39.59	Fe/Zn	4.65	104.14
Cu	15.62	47.63	Fe/Cu	29.39	84.15
B	27.5	33.01	Fe/B	15.66	96.90
100 N/Fe	1.89	42.50	Mn/Zn	6.41	29.57
100 N/Mn *	1.01	36.63	Mn/Cu *	51.84	83.12
100 N/Zn	6.33	33.79	Mn/B *	24.95	55.13
100 N/Cu	40.57	66.35	Cu/Zn	.22	73.96
100 N/B	19.47	34.36	Cu/B	.73	67.63
100 P/Fe	.13	43.61	Zn/B	3.05	70.20

* Diferencia Significativa $p < .05$

Cuadro 5. Medias concentración en las hojas de papa y coeficientes de variación para diferentes formas de expresión de nutrimentos en población de altos rendimientos (mayor o igual a 40 Ton/ha). Análisis total dos ciclos P-V 1996 y 1997.

Formas de expresión	Media	C.V.	Formas de expresión	Media	C.V.
N *	4.74	10.98	100 P/Mn	.08	95.58
P *	.32	17.41	100 P/Zn	.48	46.35
K	4.06	15.97	100 P/Cu *	2.63	69.87
N/P	14.72	13.47	100 P/B	1.59	69.62
P/N	.07	13.83	100 K/Fe *	1.93	50.43
N/K *	1.18	19.02	100 K/Mn *	1.08	98.84
K/N *	.87	16.97	100 K/Zn	5.96	48.75
P/K *	.08	21.03	100 K/Cu *	35.19	62.14
K/P *	12.80	22.04	100 K/B	20.15	82.84
Ca	2.64	27.00	100 Ca/Fe	1.26	69.28
Mg *	.61	18.64	100 Ca/Mn *	.65	54.97
N/Ca *	1.93	37.13	100 Ca/Zn *	3.76	53.87
N/Mg *	8.01	21.90	100 Ca/Cu *	21.61	49.59
P/Ca *	.13	41.46	100 Ca/B	12.49	63.32
P/Mg *	.55	25.91	100 Mg/Fe *	.27	47.66
K/Ca	1.66	39.91	100 Mg/Mn *	.15	69.10
K/Mg	6.96	25.17	100 Mg/Zn *	.85	39.86
Ca/Mg	4.53	26.51	100 Mg/Cu *	5.23	57.86
Fe *	270.72	51.17	100 Mg/B	2.87	58.72
Mn *	497.00	42.49	Fe/Mn	.80	135.43
Zn	81.25	41.36	Fe/Zn	4.31	103.35
Cu	14.63	45.67	Fe/Cu	26.22	86.97
B *	25.49	36.75	Fe/B *	14.59	94.64
100 N/Fe *	2.16	71.34	Mn/Zn	6.25	29.72
100 N/Mn	1.23	93.77	Mn/Cu *	46.66	82.70
100 N/Zn	6.88	45.24	Mn/B *	24.79	57.86
100 N/Cu *	40.89	58.89	Cu/Zn	.21	67.37
100 N/B	22.69	67.81	Cu/B	.76	71.83
100 P/Fe *	.15	50.36	Zn/B *	4.11	65.65

* Diferencia Significativa $p < .05$

4.1.4 Comparación de las normas DRIS con otras normas DRIS desarrolladas para papa

En el Cuadro 6 se presentan las normas DRIS para papa establecidas por diferentes autores y años. Meldal y Sumner (1980) determinaron las normas DRIS en Sudáfrica para N, P Y K y sus respectivas relaciones. Más tarde Mackay *et al.* (1987), establecieron las normas DRIS en Canadá para N, P, K, Ca y Mg con sus respectivas relaciones. En 1993 Navvabzdeh y Malakouti determinaron las normas DRIS en Iran para N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B, sin considerar las relaciones entre dichos nutrimentos. En el Cuadro 6 también se observan las normas DRIS establecidas en este trabajo (García y Olivares), en donde se consideran los nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B con todas sus posibles relaciones.

En este Cuadro 6 se observa como la media de N establecida en esta investigación estuvo un poco arriba de las normas desarrolladas por Meldal y Sumner (1980), Navvabzdeh y Malakouti (1993) y debajo de Mackay *et al.* (1987). Para P fueron menores que las desarrolladas por Meldal y Sumner (1980), y de Mackay *et al.* (1987) y mayores que Navvabzdeh y Malakouti (1993). En el caso de K estuvieron arriba de Mackay *et al.* (1987) y por debajo de Meldal y Sumner (1980) y Navvabzdeh y Malakouti (1993). Para Ca fueron mucho mayores que todas las desarrolladas anteriormente. Para Mg estuvieron por debajo de las normas desarrolladas por Navvabzdeh y Malakouti (1993) y Mackay *et al.* (1987) en suelos Boreales y arriba de Mackay *et al.* (1987) para suelos Espodosoles. En el caso de Fe, Mn y Zn estuvieron muy arriba de las medias establecidas por Navvabzdeh y Malakouti (1993), para Cu un poco arriba y con B fue el único elemento que se presentó debajo de dichas medias.

Cuadro 6. Medias y coeficientes de variación de las formas de expresión de nutrimentos para el cultivo de papa establecidas por diferentes autores.

Formas de expresión	Meldal y Sumner 1980 (745)*		Mackay et al. 1987				Navvabzdeh y Malakouti 1993 (50)*	García y Olivares (142)*	
	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	Media	C.V.
N	4.28	15	6.05	09	6.38	07	4.50	4.74	11
P	0.39	37	0.57	22	0.48	15	0.30	0.32	19
K	5.27	27	3.62	17	3.72	19	5.00	4.06	16
N/P	12.7	15	11.1	19	13.4	13		14.73	13
P/N	0.09	42	0.093	19	0.07	12		0.07	14
N/K	0.87	31	1.71	17	1.79	24		1.19	19
K/N	1.25	30	0.603	17	0.58	21		0.87	17
P/K	0.07	42	0.162	30	0.13	26		0.08	25
K/P	15.06	42	6.78	32	7.88	27		12.80	22
Ca			0.94	20	0.90	23	1.50	2.65	27
Mg			0.68	20	0.36	43	0.65	0.61	18
N/Ca			6.62	18	7.56	31		1.93	37
N/Mg			9.28	21	20.6	35		8.01	22
P/Ca			0.623	28	0.58	38		0.13	46
P/Mg			0.885	35	1.57	37		0.56	25
K/Ca			3.98	24	4.47	36		1.66	40
K/Mg			5.53	23	12.4	44		6.96	25
Ca/Mg			1.42	18	2.82	33		4.53	10
Fe							150	271	51
Mn							50	497	42
Zn							40	81	41
Cu							11	15	46
B							38	25	37

* Numero de observaciones

Las diferencias de concentración del N en las normas DRIS establecidas, se pueden explicar debido a que los suelos de Canadá presentan mayor contenido de materia orgánica que los suelos de N. L. y Coahuila por lo que se refleja en una mayor concentración de este nutrimento. Para P, las bajas concentraciones encontradas en nuestra región y en Irán son debido a las condiciones alcalinas y alta presencia de carbonatos. Para K, las bajas concentraciones de este elemento son debidas a que en los suelos de Coahuila y Nuevo León, gran parte del K es fijada o convertida a una forma no disponible para la planta. Altas concentraciones de Ca son explicables debido a que las plantas tienden a absorber más cantidad de este elemento en suelos de origen calcáreo. Altas concentraciones de Mn, Zn

y Cu se pueden explicar debido a la aplicación excesiva de fungicidas en la región. Con respecto a una mayor concentración de Fe, se deba a que en Irán las condiciones calcáreas son mayores que nuestros suelos. Las bajas concentraciones de B, comparadas con las de Irán se deban a una mayor concentración de este elemento en el agua de riego de aquella región.

4.2 Diagnóstico nutricional regional

Con la información de rendimiento y análisis foliares de los dos ciclos, se realizaron diagnósticos nutricionales utilizando diferentes métodos estadísticos como el Análisis de Varianza, Correlación Simple y Componentes Principales. También se hicieron diagnósticos nutricionales utilizando únicamente la información de los análisis foliares, mediante los métodos de Rangos de Suficiencia y DRIS.

4.2.1 Diagnóstico nutricional por medio del Análisis de Varianza

Las concentraciones de nutrimentos obtenidos en los análisis foliares se compararon entre las poblaciones de altos y bajos rendimientos, utilizando el Análisis de Varianza. De esta forma es posible conocer cuales nutrimentos son diferentes significativamente entre dichas poblaciones y por lo tanto si están involucrados en la definición de altos rendimientos.

4.2.1.1 Ciclo P-V 1996

En el Cuadro 7, se presenta el nivel de significancia (p) y medias de concentración de nutrimentos en poblaciones de altos y bajos rendimientos ciclo P-V 1996.

Cuadro 7. Nivel de significancia observado (p) en el análisis de varianza y medias de concentración de los diferentes nutrientes evaluados en poblaciones de altos y bajos rendimientos. Ciclo P-V 1996.

Nutrimentos	Valores de p	Población	Población
		Rendimientos Bajos	Rendimientos Altos
N (%)	.028 *	4.11	4.56
P (%)	.022 *	.28	.34
K (%)	.836	4.37	4.32
Ca (%)	.398	2.79	2.59
Mg (%)	.072	.64	.57
Fe (ppm)	.843	177	182
Mn (ppm)	.760	407	389
Cu (ppm)	.319	14	12
Zn (ppm)	.376	77	68
B (ppm)	.002 *	30	20

* Diferencia Significativa $p < .05$

El análisis de varianza mostró diferencia significativa ($p < 0.05$) para los nutrientes N, P y B. En el caso de N y P las medias de concentración para altos rendimientos fueron mayores comparadas con la población de bajos rendimientos, en cambio para B las medias de concentración fueron menores en la población de altos rendimientos, indicando que bajas concentraciones de N y P, así como concentraciones altas de B, pudieran estar limitando el rendimiento del cultivo de papa en la región.

En el Cuadro 8, se presentan las relaciones significativas, los valores de p y las medias de concentración para cada relación en poblaciones de altos y bajos rendimientos en el ciclo P-V 1996. Sobresaliendo que bajas concentraciones de N y P, así como altas de B afectaron significativamente las relaciones en donde intervinieron estos nutrientes.

Cuadro 8. Relaciones significativas y medias de concentración para poblaciones de altos y bajos rendimientos. Ciclo P-V 1996.

Relaciones	Valores de p	Concentración	Concentración
		Rendimientos Bajos	Rendimientos Altos
100 Ca/B	.002	10.22	16.85
Cu/B	.006	.51	.84
Fe/B	.001	6.52	11.82
100 K/B	.001	16.33	30.21
K/P	.028	16.20	13.28
100 Mg/B	.004	2.42	3.90
Mn/B	.007	15.12	24.39
100 N/B	.000	15.59	31.11
N/Ca	.025	1.60	2.06
N/Mg	.005	6.68	8.15
100 P/B	.000	1.10	2.26
P/Ca	.011	.11	.15
P/K	.029	.07	.08
P/Mg	.007	.47	.60
100 P/Zn	.043	.44	.59
Zn/B	.017	2.84	4.01

4.2.1.2 Ciclo P-V 1997

En el Cuadro 9, se presenta el nivel de significancia (p) y medias de concentración de nutrimentos en poblaciones de altos y bajos rendimientos ciclo P-V 1997.

El análisis de varianza mostró diferencia significativa ($p < 0.05$) para los nutrimentos N, Mn y Mg. En el caso de N y Mn las medias de concentración para altos rendimientos fueron mayores comparadas con la población de bajos rendimientos, en cambio para Mg las medias de concentración fueron menores en la población de altos rendimientos, indicando que bajas concentraciones de N y Mn, así como altas de Mg, pudieran estar limitando el rendimiento de papa.

Cuadro 9. Nivel de significancia observado (p) en el análisis de varianza y medias de concentración de los diferentes nutrientes en poblaciones de altos y bajos rendimientos. Ciclo P-V 1997.

Nutrientos	Valores de p	Población Rendimientos Bajos	Población Rendimientos Altos
N (%)	.002 *	4.48	4.81
P (%)	.690	.31	.32
K (%)	.979	3.96	3.97
Ca (%)	.366	2.80	2.67
Mg (%)	.001 *	.75	.63
Fe (ppm)	.460	283	308
Mn (ppm)	.006 *	402	543
Cu (ppm)	.522	14.5	15.6
Zn (ppm)	.228	77	87
B (ppm)	.413	29	27

* Diferencia Significativa $p < .05$

En el Cuadro 10 se presentan las relaciones significativas, los valores de p y las medias de concentración en poblaciones de altos y bajos rendimientos, para el ciclo P-V 1997. Donde se aprecia que resultaron 12 relaciones significativas ($p < .05$), en donde sobresale que altas concentraciones de Mg, así como bajas concentraciones de N y Mn afectaron significativamente las relaciones en donde intervienen estos elementos nutritivos.

Cuadro 10. Relaciones significativas y medias de concentración para poblaciones de altos y bajos rendimientos. Ciclo P-V 1997.

Relaciones	Valores de p	Concentración Rendimientos Bajos	Concentración Rendimientos Altos
N/P	.040	14.28	15.08
N/ Mg	.000	6.23	7.97
100 N/Mn	.003	1.50	1.016
P/Mg	.001	.44	.54
100 P/Mn	.002	.10	.07
K/Mg	.003	5.48	6.63
100 K/Mn	.002	1.37	.84
100 Ca/Mn	.000	.95	.57
100 Mg/Mn	.000	.26	.13
100 Mg/Fe	.012	.32	.24
Mn/Cu	.019	31.55	51.84
Mn/B	.000	14.85	24.95

4.2.1.3 Análisis total de los dos ciclos

En el Cuadro 11, se presentan el nivel de significancia (p) y medias de concentración de nutrimentos en poblaciones de altos y bajos rendimientos del análisis total de los dos ciclos P-V 1996 y 1997.

Cuadro 11. Nivel de significancia observado (p) en el análisis de varianza y medias de concentración de los diferentes nutrimentos en poblaciones de altos y bajos rendimientos. Análisis total dos ciclos P-V 1996 y 1997.

Nutrimentos	Valores de p	Población Rendimientos Bajos	Población Rendimientos Altos
N (%)	.000 *	4.25	4.74
P (%)	.014 *	.30	.32
K (%)	.243	4.22	4.06
Ca (%)	.239	2.79	2.65
Mg (%)	.005 *	.68	.61
Fe (ppm)	.017 *	217	270
Mn (ppm)	.011 *	405	497
Cu (ppm)	.636	14.0	14.6
Zn (ppm)	.499	77	81
B (ppm)	.011 *	30	25

* Diferencia Significativa $p < .05$

El análisis de varianza mostró diferencia significativa ($p < 0.05$) para N, P, Mg, Fe, Mn y B. En el caso de N, P, Fe y Mn las medias de concentración para altos rendimientos fueron mayores comparadas con la población de bajos rendimientos, en cambio para Mg y B las medias de concentración fueron menores en la población de altos rendimientos, indicando que bajas concentraciones de N, P, Fe y Mn, así como altas concentraciones de Mg y B pudieran estar limitando el rendimiento del cultivo de papa en la región.

En el Cuadro 12, se presentan las relaciones significativas, los valores de p y las medias de concentración en poblaciones de altos y bajos rendimientos, para el análisis total de los dos ciclos P-V 1996 y 1997. Donde se aprecia que resultaron 28 relaciones significativas ($p < .05$), en donde sobresale que altas